

A cura di Laura Orian, Marina Gobbo, Giovanni Villani

EPISTEMOLOGIA  
E DIDATTICA  
DELLE DISCIPLINE

# Insegnare Chimica con Passione!

PADOVA  
**UP**

PADOVA UNIVERSITY PRESS



**Collana di Epistemologia  
e di Didattica delle discipline**

*Strumenti e Risorse*

2.

## **Collana di Epistemologia e di Didattica delle discipline**

La collana si propone di raccogliere e di veicolare concrete esperienze didattiche relative alle diverse discipline nei vari ordini di scuola e in ambito universitario, come di offrire uno spazio di discussione e di riflessione per quanto riguarda l'insegnamento delle discipline medesime. Per questo motivo, è composta da due diverse serie: *Strumenti e Risorse* per i contributi di carattere operativo inerenti la progettazione e lo svolgimento di attività didattiche potenzialmente riproducibili o che possono rivestire comunque valore di exemplum; *Ricerche e Proposte* per la diffusione di manualistica innovativa, di saggi sul tema e dei risultati di seminari e convegni scientifici. Per questo ambisce a diventare un punto di riferimento su scala almeno nazionale per quanto riguarda lo snodo delicato tra ricerca scientifica, ricerca didattica e insegnamento, a tutti i livelli e per tutti i settori disciplinari.

### **Comitato scientifico**

Direttore: Walter Panciera, Università di Padova

Salvo Adorno, Università di Catania, Storia

Claudio Bernardi, Università La Sapienza di Roma, Matematica

Valentina Cantone, Università di Padova, Storia dell'Arte

Riccardo Colpi, Università di Padova, Matematica

Martina Elice, Università di Padova, Latino

Luca Fezzi, Università di Padova, Storia antica

Giovanni Geraci, Università di Bologna, Storia antica

Fabio Grigenti, Università di Padova, Filosofia

Roberto Guidetti, Università di Modena e Reggio Emilia,  
Biologia

Geneviève Henrot, Università di Padova, Lingue straniere

Luca Illetterati, Università di Padova, Filosofia

Olivia Levrini, Università di Bologna, Fisica

Riccardo Morri, Università La Sapienza di Roma, Geografia

Laura Orian, Università di Padova, Chimica

Lucia Pagetti, Università di Bologna, Latino

Ornella Pantano, Università di Padova, Fisica  
Lorena Rocca, Università di Padova, Geografia  
Gianfranco Santovito, Università di Padova, Biologia  
Giovanni Villani, CNR Pisa, Chimica  
Andrea Zannini, Università di Udine, Storia  
Emanuele Zinato, Università di Padova, Letteratura italiana

Prima edizione 2022, Padova University Press  
Titolo originale: Insegnare chimica con passione!

© 2022 Padova University Press  
Università degli Studi di Padova  
via 8 Febbraio 2, Padova

[www.padovauniversitypress.it](http://www.padovauniversitypress.it)  
Redazione Padova University Press  
Progetto grafico Padova University Press  
This book has been peer reviewed

ISBN 978-88-6938-330-4



This work is licensed under a Creative Commons Attribution  
International License (CC BY-NC-ND) (<https://creativecommons.org/licenses/>)

# **INSEGNARE CHIMICA CON PASSIONE!**

A cura di

Laura Orian, Marina Gobbo, Giovanni Villani

**PADOVA  
UP**



# Indice

<b>Prefazione</b>	11
<b>1. Un ruolo culturale per la Chimica e la specificità della spiegazione del mondo</b>	15
<i>Giovanni Villani</i>	
<b>2. Limone e arancio: un botto di energia... grazie al limonene, una molecola chirale</b>	23
<i>Nicoletta Schmidt</i>	
<b>3. Quanto hai diluito la bibita? Un approccio particolare alla taratura degli strumenti</b>	45
<i>Enrico Paschetta, Samuele Fiammetta</i>	
<b>4. “Segnali di fumo” ovvero come far capire ai ragazzi i pericoli del tabagismo attraverso un semplice esperimento.”</b>	59
<i>Claudia Mazzuccato, Luca Pavanello</i>	
<b>5. Molecole al Computer: Calcoli per la Chimica in Classe</b>	69
<i>Marco Bortoli, Maristella Cestaro, Alessandra De Togni, Laura Gianni, Enrico Lion, Lucia Giuffreda, Roberta Predonzan, Rossella Romualdi, Laura Orian</i>	

<b>6. Oceani e clima</b>	81
<i>Elisa Corteggiani Carpinelli, Paolo Laveder</i>	
<b>7. Alginato nei sistemi di somministrazione dei farmaci</b>	113
<i>Maristella Cestaro, Gordon Kennedy</i>	
<b>8. Alla scoperta del Suolo... presentazione di un ciclo di attività sperimentali per studenti delle scuole secondarie</b>	133
<i>Emilia Regni, Marco Laveder, Serenella Nardi, Giuseppe Concheri, Maria Cristina Della Lucia, Giovanni Concheri</i>	
<b>9. Should atoms be put first in teaching general chemistry and if so how?</b>	177
<i>Eric Scerri</i>	
<b>Ringraziamenti</b>	193

## Prefazione

*Insegnare chimica con passione!* non è soltanto il titolo che abbiamo scelto per questo volume, ma è il nome di un convegno che si tiene da ormai dieci anni presso il Dipartimento di Scienze Chimiche dell'Università di Padova. Questo convegno nasce dall'esperienza dei corsi di Tirocinio Formativo Attivo e dei Percorsi Abilitanti Speciali (2013-2015) come occasione per gli insegnanti di approfondimento degli aspetti didattici e metodologici della disciplina, grazie al contributo di esperti ma soprattutto allo scambio di idee ed esperienze con altri insegnanti della materia. Per questo fin dalle origini questo evento si è caratterizzato per la presenza come speaker e partecipanti dei docenti di discipline chimiche della scuola secondaria. La condivisione di esperienze didattiche pur realizzate in scuole di indirizzo diverso si è rivelata un'iniziativa di co-formazione preziosa ed efficace. La forma congressuale, nel corso della quale si instaurano vivaci dibattiti su aspetti scientifici e didattici della disciplina, è un approccio chiave che ha favorito la costruzione di un network di professionisti della

didattica della chimica che sono spinti e coltivano una passione per questa scienza, spesso giudicata sui banchi di scuola difficile e altrettanto spesso giudicata dalla società dannosa e responsabile di ingenti danni ambientali e alla salute. Questi aspetti di diffidenza possono essere superati solo contestualizzando in maniera appropriata la didattica della chimica, che non si riduce a mero trasferimento di conoscenze più o meno astratte e declinate in base alle fasce di età dei discenti, così come la formazione degli insegnanti non va intesa esclusivamente come integrazione delle conoscenze magari su temi più nuovi o meno trattati nei corsi di laurea. Infatti, un buon progetto didattico risponde a bisogni formativi più profondi della sola conoscenza nozionistica e ambiziosamente deve sempre puntare a stimolare la curiosità, all'integrazione con altre discipline e da ultimo all'educazione sociale.

Abbiamo raccolto in questo volume alcuni progetti di didattica della chimica proposti da insegnanti delle scuole secondarie che li hanno ideati e realizzati almeno una volta con i loro studenti e presentati al convegno *Insegnare chimica con passione!* nel 2021. In classe hanno lavorato su agrumi e bibite (Capitoli 2 e 3), sul fumo e sui farmaci (Capitoli 4 e 7), sugli oceani e sul suolo (Capitoli 6 e 8). Accanto a questi progetti trovano spazio contributi misti relativi ad esperienze co-progettate da scuola e università (Capitolo 5), ma anche la voce di chi, all'interno della Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana, è impegnato da anni nella didattica ed epistemologia della chimica (Capitolo 1).

Infine, l'ultimo capitolo (Capitolo 9) è firmato dal Prof. Eric Scerri, che ha partecipato all'ultima edizione di *Insegnare chimica con passione!* e si è intrattenuato a lungo a discutere con gli insegnanti testimoniando

come la didattica della chimica sia un argomento che sta a cuore oltre i confini e che lo scambio di esperienze arricchisce anche quando il confronto è fatto con colleghi stranieri di paesi nei quali il sistema scolastico e l'istruzione sono significativamente diversi.

Buona lettura!

*Laura Orian*  
*Marina Gobbo*  
*Giovanni Villani*



# 1. Un ruolo culturale per la Chimica e la specificità della spiegazione del mondo

*Giovanni Villani*

Istituto di Chimica dei Composti OrganoMetallici ICOM-CNR  
(UoS Pisa) Area della Ricerca di Pisa

**Abstract.** Cosa ha di particolare la spiegazione chimica del mondo materiale? In che cosa si differenzia da altre spiegazioni scientifiche? Sono queste due domande generali a cui bisogna dare risposta, per poi chiedere agli insegnanti di dare il “giusto peso” formativo alla Chimica. È questa la specificità della Chimica che, pur non essendo in opposizione ad altre discipline scientifiche, richiede e pretende un peso culturale specifico nella formazione del cittadino.

La Chimica, in quanto disciplina scolastica, è insegnata, direttamente o indirettamente, in praticamente tutte le articolazioni della Scuola Secondaria. L'insegnante di tale disciplina fa molta attenzione a non dimenticare concetti chimici importanti e, quando può, ricorre alle applicazioni chimiche per mostrare l'importanza di questa disciplina. Ben poca attenzione, invece, è fatta alla esplicitazione della sua specificità. Spesso, anzi, in discorsi generali/culturali, la Chimica è considerata riducibile a "Fisica applicata" o è affiancata alla Fisica in fantomatiche "leggi della Fisica e della Chimica". Eppure non mancano "indizi" della sua specificità, come le onnipresenti *sostanze chimiche* o il *linguaggio chimico* con cui è "letto" tutto il mondo materiale, sia esso inanimato o quello animato.

La spiegazione chimica del mondo inanimato e animato è incentrata sul concetto di molecola e, spesso, in ambito biochimico, di macromolecola. Non ci addentreremo qui sulla questione se una macromolecola sia solamente una "molecola grande" o qualcosa di concettualmente differente. Su questo argomento, dal mio punto di vista, qualcosa si può trovare in <https://youtu.be/i2XCTZgVlo8>.

Nel dettaglio, qui vogliamo evidenziare che la spiegazione di tipo chimico non ricerca, come quella fisica, delle leggi universali a cui assoggettare processi ed enti naturali specifici, ma tramite le proprietà statiche e dinamiche (reazioni chimiche) dei costituenti (molecole a livello microscopico, composti a livello macro) determina le proprietà e il comportamento della realtà materiale. Per la Chimica esiste un momento di "analisi", in cui individuare i componenti, e un momento di "sintesi" in cui i componenti vengono messi insieme per dar vita ad una nuova sostanza. È questa la pratica chimica a tutti i livelli, dalla scuola di base all'industria chimica.

Al livello microscopico, abbiamo il mondo molecolare della Chimica. Tale mondo molecolare è talmente impor-

tante che nel titolo di un mio libro (*La chiave del mondo. Dalla filosofia alla scienza: l'onnipotenza delle molecole*) ho parlato "dell'onnipotenza delle molecole". Il concetto di "molecola" è una risorsa sia scientifica sia culturale per la Chimica. Sull'importanza scientifica del binomio molecola/composto per la Chimica e delle sue trasformazioni non ci soffermeremo ulteriormente. Basterà dire che da questo binomio passa la quasi totalità della Chimica. Sull'importanza "culturale", invece, spenderò qualche parola perché è un aspetto sottovalutato, persino in ambito chimico. Io penso, invece, che anche tramite i suoi aspetti culturali, oltre agli indubbi e notevoli risultati materiali, si possa delineare e pubblicizzare un'immagine positiva della Chimica.

Chiediamoci che cosa ha il mondo molecolare di tanto importante da meritare di trascendere il puro aspetto di concetto scientifico? A tutti è nota la teoria atomica della materia e, seppure a grandi linee, la sua controparte filosofica. Molto meno studiata, per non dire completamente negletta, è, invece, la teoria molecolare della materia. La sua controparte filosofica, poi, è tutta da scoprire. Io credo che il concetto di molecola, come ente strutturato e dinamico, sia una conquista culturale, oltre che scientifica.

Dal punto di vista strettamente scientifico, il livello di complessità delle molecole presenta delle peculiarità. In una possibile lista dei livelli di complessità della realtà, quella che dalle particelle elementari porta al macroscopico, il livello molecolare, anche a prima vista, si situerebbe immediatamente prima della biforcazione tra il mondo inanimato e quello animato. Rispetto al mondo vivente, le molecole sono il livello di studio immediatamente precedente (basta guardare al binomio cellula/costituenti cellulari) e le molecole sono, quindi, fondamentali nello studio del vivente, come la Biochimica sta a evidenziare. Il livello molecolare è, tuttavia, anche il livello immedia-

tamente precedente agli oggetti inanimati macroscopici che ci circondano e anche per essi il mondo molecolare diventa il referente di spiegazione. In quest'ultimo caso, basti pensare ai minerali, alle rocce, ecc. e al ruolo che svolge la Geochimica nel loro studio.

Ecco una prima ed essenziale caratteristica culturale del mondo microscopico della Chimica: esso rappresenta un linguaggio unico e specifico con cui studiare tutto il mondo materiale. È questo un aspetto essenziale che va evidenziato a scuola e nella società, in generale. La scienza moderna non ne può fare a meno e anche quando lo “demonizza” a livello macroscopico nel concetto di “sostanza chimica”, non può fare a meno di considerarlo.

In Figura 1 riportiamo “un pezzo” di una comune macromolecola e in Figura 2 la specificazione chimica (acidità, componenti, ecc.) di alcuni tipi di rocce.



Figura 1 – Una “parte” di una macromolecola biologica

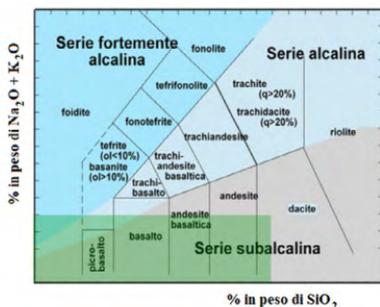


Figura 2 – “Spiegazione” chimica di alcuni tipi di rocce

Non è, tuttavia, solo questa la peculiarità del mondo molecolare/macromolecolare. Esso è un mondo ricco qualitativamente, cioè i suoi enti, milioni, sono tutti diversi gli uni dagli altri a tal punto da meritare ognuno un nome individuale. È questa sua caratteristica che lo rende particolarmente utile nello spiegare tanto il complesso mondo macroscopico quanto, l'ancora più complesso, mondo vivente. Questa sua varietà è una diretta conseguenza della "strutturazione" a livello molecolare e su questo concetto scientifico fondamentale per la Chimica, e la scienza tutta, va posta l'attenzione.

Da un punto di vista storico, nel Seicento il meccanicismo come immagine del mondo e della Natura attecchì anche in campo chimico svolgendo la funzione positiva del superamento dell'alchimia. La forma delle particelle e i loro movimenti divennero un criterio importante di spiegazione dei mutamenti chimici, facendo diventare la Chimica una parte della filosofia naturale. A questo contribuì soprattutto l'opera di Robert Boyle (1627-1691). La Chimica del XVIII secolo, invece, rappresentò una fase di reazione contro il meccanicismo e il suo tipo di spiegazione, in nome della sua specificità. Nel XIX secolo Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770-1831), uno dei più importanti filosofi, ha usato il termine *chimismo* in contrapposizione a *meccanicismo*, intendendo dire che nel meccanicismo la relazione tra due oggetti era "superficiale" (una determinazione relativa spazio-temporale), mentre in Chimica due sostanze erano in relazione "più intima", tramite la loro "natura". Ricordiamo che all'inizio del XIX secolo il concetto chimico di "affinità" aveva acquisito una valenza generale, come il libro *Le affinità elettive* di Johann W. Goethe (1749-1832) sta a dimostrare. È in quest'ottica che andava intesa la relazione "intima" di tipo chimico tra le sostanze.

Il XX secolo rappresenta un caso da analizzare e da capire per la Chimica. In questo secolo entra in crisi il rapporto tra tale disciplina e la cultura ed è importante chiedersi quale sia stata la causa di tale crisi. Accanto a una crisi complessiva del rapporto tra le discipline scientifiche e le visioni più generali del mondo, la crisi culturale della Chimica ha una sua motivazione specifica. Io credo che con l'*espropriazione* del mondo atomico/molecolare da parte della Meccanica Quantistica (e, quindi, dei fisici), i chimici si sono sentiti privati della loro base culturale e si sono sempre più chiusi nei laboratori, nelle applicazioni industriali e nelle loro astrazioni specialistiche. Il paradosso di ciò è che oggi giorno la Chimica, che più della Fisica plasma il mondo quotidiano, è diventata una cenerentola a livello culturale, una disciplina senza aspetti generali, una branca di "Fisica applicata". Io credo che solo quando sarà evidente, anche tra i chimici, che la loro disciplina ha una valenza generale, ed è specifica e diversa dalla Fisica, solo allora il rapporto tra la Chimica e la cultura si potrà ristabilire. Il concetto di molecola come entità strutturata è, a mio avviso, il punto di forza che permette una solida differenziazione della Chimica dalla Fisica e, per le sue fondamentali implicazioni, tale concetto può superare l'ambito tecnico/scientifico e asurgere a concetto culturale e squisitamente filosofico.

Il ristabilirsi, quindi, di un fecondo rapporto tra la Chimica e la Filosofia, tra la Chimica e la cultura in generale, è fondamentale. È un posto che la Chimica merita e al quale può ambire. È un ruolo formativo a cui la Chimica può ambire in ambito scolastico se riesce a mostrare il livello generale e culturale sotteso ai suoi "tecnicismi". Il rischio, altrimenti, è quella dell'immagine corrente della Chimica, una disciplina "arida", senza valore formativo. È un ruolo "sociale" da affiancare a quello applicativo che aiuterebbe a rimuovere un paradosso del pensiero comu-

ne: quello che la Chimica sia qualcosa di artificiale (e di cattivo) da contrapporre al naturale (e buono). Come è ovvio a qualunque chimico, la divisione naturale e artificiale riguarda il metodo di produzione di una sostanza, non le sue caratteristiche. Questa “banale” considerazione in ambito tecnico è invece una rivendicazione importante al di fuori dell’ambito specialistico.

Per quanto riguarda l’ambito scolastico, io ritengo che se la Chimica vuole rivendicare un ruolo culturale e il suo insegnamento essere formativo e non solo informativo occorre che il suo substrato storico/filosofico sia evidenziato e la sua specificità ad esso collegato. Collegare i concetti chimici studiati al loro valore generale, identificare l’innovazione generale (oltre che applicativa) delle sue “sostanze”, evidenziare come i suoi concetti ci consentono di superare degli specifici “muri epistemologici”, riempie senza dubbio la Chimica di valore formativo.

La Chimica, quindi, può svolgere un ruolo importante nella formazione degli studenti, nei cittadini di domani. Vediamolo su un singolo esempio, quello ambientale. Spesso la Chimica è considerata come un’attività “innaturale”, “artificiale”, rispetto ad una “naturalità” da valorizzare. Spesso la Chimica è considerata la fonte di ogni inquinamento e “senza sostanze chimiche” significa nella pubblicità senza cose cattive. Chiediamoci, tuttavia, se sia possibile un ambientalismo del XXI secolo che possa prescindere dalle conoscenze e competenza chimiche? Davvero qualcuno pensa che “un mitico” ritorno alla Natura possa risolvere i problemi di nutrizione e di salute del sette miliardi di esseri umani che abitano la Terra? Su queste aspetti, su queste domande, il professore dovrebbe far riflettere gli studenti.



## 2. Limone e arancio: un botto di energia... grazie al limonene, una molecola chirale

*Nicoletta Schmidt*

Liceo scientifico "E. Fermi" di Padova

**Abstract.** Il succo di limone *e/o* di arancio sgocciolato su un palloncino in lattice non fa scoppiare il palloncino, mentre l'olio essenziale presente all'interno della buccia di limone *e/o* di arancio fa scoppiare il palloncino, a causa della presenza nella buccia degli agrumi del limonene (un monoterpene ciclico), in grado di depolimerizzare il poliisoprene (il lattice) del palloncino. La particolarità è che il limonene è un composto chirale o, meglio, si tratta di due composti diversi, due isomeri ottici: l'enantiomero L (-) limonene che conferisce il profumo ai limoni e l'enantiomero D (+) limonene che dà il profumo alle arance.

## Introduzione <sup>1</sup>

L'esperimento viene eseguito in classe quinta superiore di liceo scientifico all'interno del programma di chimica organica con riferimento in particolare alla chiralità e ai polimeri.

Questo proposto è un esperimento molto semplice e di effetto che si può fare anche a tavola per sbalordire parenti e amici; tuttavia, coinvolge molti concetti relativi sia alla chimica organica (idrocarburi, polimerizzazione, isomeria ottica, molecole chirali, isomeria geometrica, flavonoidi), sia, in un'ottica interdisciplinare, alla biologia (botanica, alimentazione, proprietà antiossidanti, proprietà antitumorali).

In particolare, questo esperimento si può fare anche in aula perché, contrariamente agli esperimenti con le sostanze organiche che sono in genere pericolose, necessita di materiali poveri.

Risulta efficace dal punto di vista didattico in quanto il limonene può essere preso da esempio parlando degli isomeri ottici che pur avendo formula di struttura identica hanno proprietà diverse: l'enantiomero L (-) limonene dà il profumo alla buccia dei limoni e l'enantiomero D (+) limonene dà il profumo a quella delle arance.

Sempre negli agrumi vi sono altri composti della chimica organica: vi è infatti, come noto, la vitamina C

---

<sup>1</sup> Tale esperimento è stato realizzato sull'idea di Maristella Cestaro, docente all'IIS "Veronese-Marconi" Cavarzere (VE), condivisa con la sua relazione alla giornata di formazione per insegnanti "Insegnare chimica con passione!" del 2014. Tale esperimento viene svolto nelle mie classi quinte del liceo Fermi dall'a.s. 2014-15. In quello stesso anno alcuni alunni di 5 A (Busetto e Gasparotto) e di 5 B (Carlin, Ceschi, Gaiola, Pomini, Previtera, Sumiti) hanno partecipato con tale esperimento (Limone e arancio: una spremuta di energia!) al concorso "Sperimenta anche tu", XIV edizione della mostra Sperimentando "Energia e vita", ottenendo il premio speciale per le scuole secondarie di secondo grado.

(l'acido L- ascorbico) e l'acido citrico, ma vi sono anche il citrale (un'aldeide), i folati e dei flavonoidi (polifenoli anch'essi dalle proprietà antiossidanti). Insomma, un concentrato di chimica organica e salute!

### **Materiali, metodi, sicurezza**

Per questo esperimento sono necessari dei materiali di facile reperibilità; infatti, basta procurarsi solamente tre palloncini in lattice, un limone, un'arancia e un coltello. L'unica accortezza è quella di avere degli agrumi freschi, con la buccia dall'aspetto non avvizzito, cosa che inficerebbe l'esperimento stesso.

Anche per quanto riguarda la procedura da seguire questa è estremamente semplice e veloce. Viene qui di seguito schematizzata:

- Gonfiare i tre palloncini.
- Tagliare un quarto di limone e un quarto di arancia facendo attenzione a non ferirsi.
- Spremere qualche goccia del succo del limone su un palloncino.
- Spruzzare, piegando le estremità verso l'interno, l'olio essenziale della buccia del limone sul secondo palloncino.
- Spruzzare, sempre piegando le estremità verso l'interno, l'olio essenziale della buccia dell'arancia sul terzo palloncino.

Per quanto riguarda la sicurezza non vi è nessun accorgimento particolare per l'esperimento di base se non fare attenzione a non ferirsi quando si taglia il limone o l'arancia e tenere lontano dagli occhi sia i palloncini gonfiati, sia gli spruzzi del succo di limone/arancio.

Se invece si vogliono utilizzare, secondo quanto gli studenti propongono, degli acidi inorganici (anche con

una costante di ionizzazione elevata) o altre sostanze organiche (che in genere sono da usare con cautela) per vedere se questi materiali riescono a far scoppiare il palloncino, allora bisogna fare attenzione ed usare tali sostanze sotto cappa e utilizzando i dispositivi di protezione individuale.

## Esperimento e discussione

All'inizio dell'attività, prima di fare l'esperimento, l'insegnante chiede agli alunni in laboratorio (ma l'esperimento di base può essere fatto anche in aula) se pensano che il succo di limone o di arancio faccia scoppiare i palloncini.

Qualcuno dei ragazzi in genere risponde di sì, motivando la risposta perché sa che nel succo degli agrumi è presente l'acido citrico, che conferisce il gusto acidulo agli stessi.

Si prova: il succo gocciolato di limone e di arancia sopra i palloncini non li fa scoppiare (Figura 1).

Allora si prova spruzzando la buccia di limone e di arancia e i palloncini scoppiano in entrambi i casi (Figura 1).



Figura 1 – Succo di limone spremuto e buccia di limone spruzzata sui palloncini

Si attiva la discussione in classe del perché di questo comportamento.

I ragazzi potrebbero fare l'ipotesi che l'acido citrico sia un acido troppo debole e quindi di provare con un acido forte presente nel laboratorio (come l'acido cloridrico), ma gli acidi non degradano la plastica.

La domanda è, da una parte, quale è la composizione dei palloncini e, dall'altra, quale quella della buccia degli agrumi.

I palloncini sono fatti in lattice che è un poliisoprene. A tal proposito è giusto segnalare di fare attenzione perché in alcune confezioni vi è la sigla PP-polipropilene, che è errata e che anche a noi inizialmente aveva portato fuori strada.

D'altra parte, guardando la composizione della buccia degli agrumi, si scopre che il componente presente in quantità maggiore è il limonene, un idrocarburo, in particolare un terpene. I ragazzi potrebbero ipotizzare, quindi, che sia proprio il limonene il responsabile dello scoppio del palloncino nella considerazione che il simile scioglie il simile. Questo può essere ipotizzato dai ragazzi all'inizio dello studio di chimica organica quando si mettono a fuoco i legami apolari C-H, presenti in tutti gli idrocarburi e quindi sia nel limonene che nel lattice.

Per confermare questa ipotesi si può provare ad utilizzare olio (anche qui legami apolari C-H) ma non succede nulla. Si possono poi utilizzare alcuni solventi organici non troppo pericolosi presenti nel laboratorio di chimica e dire ai ragazzi di portare dei solventi presenti nelle loro case: alcol etilico, acetone, etere di petrolio. Certamente tali solventi sono da utilizzare con cautela e sarà un'occasione per far leggere nelle etichette di tali prodotti le frasi di rischio. Ma anche con tali sostanze il palloncino non scoppia.

Alla fine delle varie prove risulta evidente che c'è una specificità fra solvente limonene e isoprene. Ma perché?

Può avere qualche influenza anche il citrale presente anch'esso nella buccia degli agrumi?

## Conclusioni

Osservando la formula chimica dell'isoprene e del limonene e confortati dal parere di docenti universitari patavini di chimica organica, si può concludere che a far scoppiare il palloncino non è solamente un fenomeno fisico di dissoluzione del polimero del palloncino (quindi con rottura dei legami intermolecolari), ma di una reazione chimica fra limonene e poliisoprene.

Il limonene è in grado di depolimerizzare il poliisoprene, causando lo scoppio del palloncino gonfio.

## Il limonene

Il limonene è il composto organico contenuto in maggior quantità nella buccia dei due agrumi da noi più conosciuti: l'arancia e il limone.

È un idrocarburo (formato solo da atomi di C e H), in particolare un cicloalchene (cicloesene) o cicloolefina (contiene due doppi legami), classificato come monoterpene ciclico (i terpeni sono composti naturali che derivano dall'unione di una serie di frammenti a cinque atomi di carbonio che formalmente derivano dall'isoprene), infatti ha 10 atomi di carbonio: è un dipentene dalla formula bruta  $C_{10}H_{16}$ , è un dimero dell'isoprene, il monomero del lattice. La nomenclatura IUPAC è 4-isopropenil-1-metil-1-cicloesene.

Lo si ottiene dall'isoprene per reazione di Diels-Alder e anche dalla depolimerizzazione del poliisoprene.

Sia limonene che isoprene sono reattivi in reazioni radicaliche.

Il limonene è una molecola molto speciale, è un com-

posto chirale (con lo stereocentro in posizione 4) che si presenta in due forme speculari (come lo sono la mano destra e sinistra), due enantiomeri, che hanno stessa formula di composizione, stessa sequenza di legami e stesso arrangiamento spaziale degli atomi, ma speculari: uno destrogiro e l'altro levogiro.

L'enantiomero destrogiro D (+) limonene dà il profumo alle arance e l'enantiomero levogiro L (-) limonene conferisce il profumo ai limoni (Figura 2).

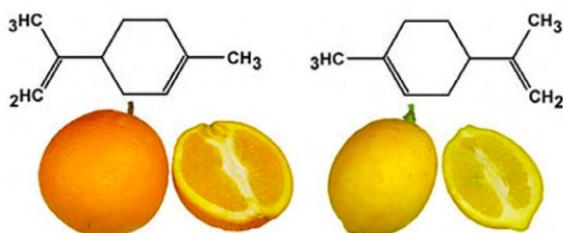


Figura 2 – Enantiomero destrogiro a sinistra ed enantiomero levogiro a destra

A questo punto è importante sottolineare agli studenti che la maggior parte delle molecole biologiche sono enantiomeriche (es. zuccheri serie sterica D, amminoacidi serie sterica L).

È da sottolineare anche, per far comprendere il concetto di stereoscrittura D ed L, che, in questo caso solo casualmente, la forma L è levogira e quella D è destrogira.

## Il lattice

I palloncini in lattice sono quelli di gran lunga più diffusi e sono caratterizzati da notevole elasticità.

Il lattice è il poliisoprene, un polimero dell'isoprene.

L'isoprene è il monomero.

L'isoprene ha 5 atomi di carbonio e contiene due doppi legami (è un diene), con formula bruta  $C_5H_8$  e formula di struttura  $CH_2=C(CH_3)CH=CH_2$ , il suo nome IUPAC è 2-metil-1,3-butadiene.

Il poliisoprene naturale è anche detto gomma naturale o caucciù.

Anche oggi i palloncini non sono quindi realizzati in plastica, ma ancora usando il lattice, che è una sostanza completamente naturale, è la linfa degli alberi della gomma (*Hevea brasiliensis*), ma lattici gommosi si possono ottenere da numerosi alberi (se ne contano ora più di trecento).

Gli alberi vengono incisi diagonalmente, in particolare viene inciso un sottile e stretto strato di corteccia con un tracciato "a lisca di pesce" permettendo così al lattice di colare in un recipiente fissato al fusto, usato per la raccolta.

Il lattice allo stato puro è un liquido bianco o giallognolo che, dopo essere esposto all'aria o al calore, si trasforma in una sostanza solida ed elastica.

Il poliisoprene oltre ad essere raccolto dalla linfa dell'albero della gomma, si può anche ottenere mediante la polimerizzazione di Ziegler-Natta.

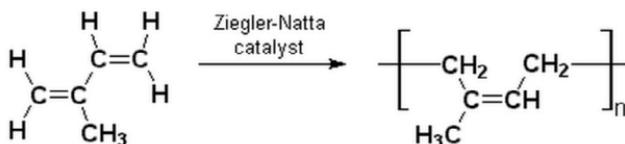


Figura 3 – Isoprene monomero e poliisoprene

Il poliisoprene è un polimero dienico, cioè un polimero realizzato appunto dall'isoprene, il monomero contenente due doppi legami carbonio-carbonio (Figura 3). Come la gran parte dei polimeri dienici, conserva un dop-

pio legame carbonio-carbonio nella catena principale.

Il lattice in particolare è un polimero ottenuto per addizione 1,4-cis dell'isoprene (Figura 4).

Invece il polimero dell'isoprene a concatenazione 1,4-*trans* è la guttaperca, che differisce dal lattice per la mancanza di elasticità e per essere un polimero semicristallino a causa configurazione *trans*, meno ingombrante, che favorisce l'impaccamento (Figura 4). Il nome guttaperca deriva dall'inglese *gutta-percha*, a sua volta originato dal malese *getah perca* che significa "gomma di perca", dal nome dell'albero da cui è ricavata.

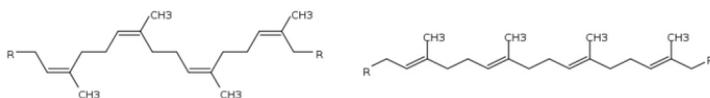


Figura 4 – Lattice: poliisoprene 1,4-cis e guttaperca: poliisoprene 1,4-*trans*

I palloncini biodegradano più meno alla stessa velocità di una foglia di quercia e scoraggiano la deforestazione perché gli alberi che producono il lattice non vengono abbattuti.

Inoltre, quando vengono lasciati volare via senza nastro o oggetti di plastica attaccati, non sono dannosi perché riescono a raggiungere alte quote, dove, a causa del freddo e della bassa pressione, si frantumano in tanti piccoli pezzi che cadono a terra e si decompongono.

## Approfondimenti

### Composizione del limone e dell'arancia

Il limone (*Citrus limon*) e l'arancio (*Citrus sinensis*) hanno un frutto carnoso detto esperidio.

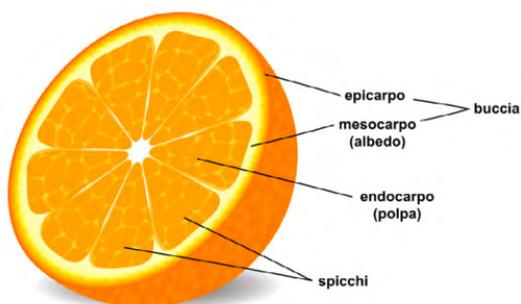


Figura 5 – Strutura dell'agrume

La loro composizione si può schematizzare nel modo seguente (Figura 5):

Parte non edibile esterna: la buccia (40%):

- epicarpo, ricca di ghiandole oleifere, viene utilizzata in cucina per la produzione di oli essenziali
  - Nel limone: limonene (65%),  $\beta$ -pinene,  $\gamma$ -ferpinene, citrale (geraniale -isomero trans-, nerale - isomero cis)
  - Nell'arancia: limonene, decanale, citrale,  $\alpha$ - e  $\beta$ -sinensale
- mesocarpo o albedo, è la parte bianca, spugnosa ricca di flavonoidi, potenti antiossidanti

Parte edibile (57-58%):

- polpa o endocarpo, suddivisa in spicchi che contengono un succo ricco di acido citrico, acido ascorbico (vitamina C) e sali minerali.
- semi (2-3%) da cui si estraggono oli essenziali utilizzati per la produzione di saponi e detersivi, sono ricchi di pectina (utilizzata come addensante per confetture).

## Usi e proprietà del limonene

Fra i due enantiomeri quello di maggior interesse in campo industriale e merceologico è il D-limonene, ovvero il R-(+)-4-isopropenil-1-metil-1-cicloesene, quello cioè presente nella buccia delle arance.

Il limonene è utilizzato per molti scopi, qui di seguito schematizzati:

- è spesso utilizzato come additivo nell'industria alimentare.
- nell'industria cosmetica e farmaceutica per il gradevole aroma.
- come insetticida (registrato dal 1958).
- come antimicrobico (registrato dal 1971).
- come ottimo solvente di grassi, olii, cere, resine, vernici, col vantaggio di essere meno tossico ed avere un odore più sopportabile rispetto a solventi di pari polarità (quali l'essenza di trementina o la ragia minerale)
- come solvente per pneumatici nel riciclaggio degli pneumatici.
- come repellente per cani e gatti (registrato dal 1983)
- nella produzione di vernici ad olio e oleosintetiche di pregio.

Il limonene ha le seguenti proprietà chimico-fisiche:

- è insolubile in acqua e solubile in alcol ed etere.
- a temperatura ambiente è liquido e incolore.
- ha un forte odore di arance, limoni o trementina a seconda della composizione chirale.
- punto di ebollizione: 176°C.
- punto di fusione: -74°C.
- punto di infiammabilità: 43°C.

## Citrale nella buccia

Un altro composto che si trova nella buccia è il citrale (Figura 6). Citrale (E,Z-3,7-dimetil-2,6-ottadienale) è il nome comune della miscela dei due isomeri di un'aldeide mono terpenica, l'isomero E (o trans) è detto geraniale (o citrale A), lo Z (o cis) è detto nerale (o citrale B).

Il citrale è un'aldeide contenuta nel limone per il 2-5%. In altre piante è presente in maggior quantità: nel mirto limone al 90-98%, nel lemongrass al 65-85%.

Il citrale è soprattutto usato come aroma in profumeria, spesso per fortificare l'olio di limone, è una fragranza contenuta in molte profumazioni che rendono più gra-

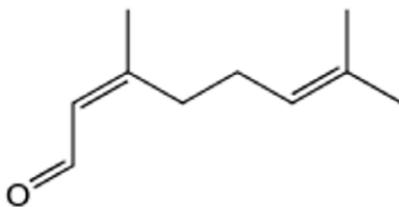


Figura 6 – Geraniale e nerale

devoli prodotti cosmetici dedicati alla detersione, alla cura del corpo e del viso. A causa del potenziale sensibilizzante, il citrale rientra nell'elenco delle 26 sostanze profumate considerate allergizzanti, che per legge devono essere elencate in etichetta quando la loro percentuale supera lo 0,001% nei prodotti leave-on e lo 0,01% nei prodotti da risciacquo. Considerato il suo potere potenzialmente sensibilizzante non è generalmente impiegato nei prodotti cosmetici destinati ad una pelle particolarmente sensibile o atopica.

Il citrale poi:

- ha forti qualità antimicrobiche.
- ha effetti feromonali negli insetti.
- è usato per la sintesi della vitamina A.
- riesce a mascherare l'odore di fumo.

## Flavonoidi nel mesocarpo

Nell'olio essenziale degli agrumi, oltre al limonene, sono presenti numerose molecole con effetti benefici per l'uomo: i flavonoidi. Questi composti, che sono dei polifenoli, possono essere considerati dei derivati del flavone, un composto eterociclico formato da due anelli benzenici e un anello benzopiranicico, come mostrato in Figura 7.

Le proprietà dei flavonoidi (che sono polifenoli) variano in base al numero e alla posizione dei gruppi ossidrilici (-OH) e metossido (-OCH<sub>3</sub>) all'interno della molecola. Per esempio, l'esperidina e l'eriodictiolo, che si trovano in grandi quantità negli agrumi, sono molto simili tra loro ma, mentre la prima ha la funzione di proteggere i vasi sanguigni, il secondo è un colorante naturale (Figura 7).

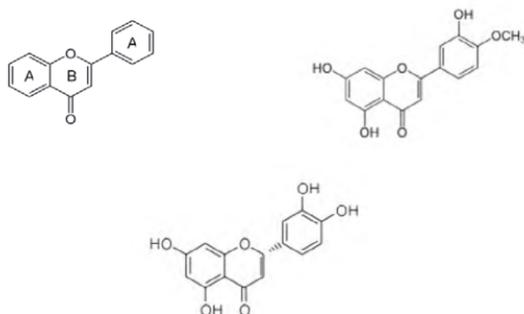


Figura 7 – Flavone, esperidina ed eriodictiolo

Altri flavonoidi importanti sono le antocianine o antociani: queste molecole sono responsabili del colore blu-violaceo di alcuni frutti, come le more, ma anche del colore rosso delle arance rosse (il colore rosso, blu o viola è in dipendenza dell'aumento del pH). Infatti, le varietà di arance rosse (Moro, Tarocco e Sanguinello)

sono quelle che, fra il genere *Citrus*, contengono le antocianine in maggior quantità.

Le antocianine sono prodotte dalle piante perché le proteggono dai danni causati dalle radiazioni ultraviolette. Per le cellule del nostro organismo hanno proprietà antiossidanti, antiradicali liberi, antiinfiammatorie, antiinvecchiamento e antitumorali. In particolare, gli antociani sono in grado di reagire con gli ossidanti quali l'ossigeno molecolare e i radicali liberi riducendo così i danni che queste molecole possono provocare alle cellule e ai tessuti; svolgono una protezione cardio-vascolare facilitando la microcircolazione; riducono la produzione di citochinine da parte del sistema infiammatorio.

Sono ancora in corso studi epidemiologici su larga scala in uomini e donne per valutare le dosi ottimali e con precisione l'effetto sulla salute delle antocianine, sia introdotte con la dieta che tramite integratori.

### **Composizione del succo di limone e arancia**

Che importanza può avere una semplice spremuta di limone o di arancia?

In un paese come l'Italia, che rappresenta uno dei maggiori produttori a livello mondiale di tali agrumi, la domanda assume una rilevanza ancora più marcata. La risposta al quesito in esame deve essere desunta semplicemente dalla composizione dei frutti stessi: infatti, sia nel limone che nell'arancia sono presenti in quantità considerevoli sostanze imprescindibili per la nostra salute.

Innanzitutto, vi è l'acqua che, in entrambi gli agrumi, costituisce ben il 90%.

Altra componente fondamentale è quella delle vitamine (vitamina C e vitamine del gruppo B), le qua-

li devono essere assunte quotidianamente poiché non vengono sintetizzate dall'organismo umano.

Come sali minerali vi sono soprattutto potassio, fosforo e magnesio.

Da ultimo, come acidi organici vi sono l'acido citrico, malico e tartarico.

### Acido citrico nel succo

A questo punto è necessario prendere in considerazione gli acidi organici, tra i quali particolare rilievo assume l'acido citrico, che è un acido tricarbossilico (Figura 8). Esso è contenuto nel limone in una misura compresa tra il 2 e il 3,5%, mentre nell'arancia la quantità non supera l'1%.

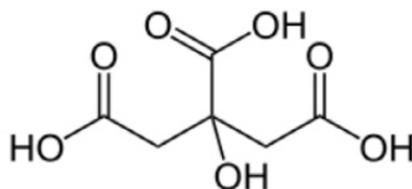


Figura 8 – Acido citrico

Si tratta di un composto ricco di proprietà benefiche:

- partecipa al ciclo di Krebs (fase della respirazione cellulare), che viene chiamato anche ciclo dell'acido citrico o ciclo degli acidi tricarbossilici.
- ha un'azione antiossidante, ossia è in grado di combattere i radicali liberi che sono i principali responsabili dell'invecchiamento cellulare.
- ostacola la formazione dei calcoli renali e dell'acido urico.
- ha una funzione diuretica.

- ha un effetto stabilizzante per l'apparato scheletrico, dal momento che le ossa sono in parte rivestite da citrato.
- possiede delle qualità antibatteriche.

### Vitamina C nel succo

La vitamina presente in maggior quantità nella polpa è la vitamina C, detta acido ascorbico (perché non fa venire lo scorbuto), presente nella misura di 50 mg su 100 g di polpa di limone e di arancia.

È una vitamina idrosolubile.

È un nutriente essenziale per l'uomo.

È un eterociclo con l'ossigeno al vertice.

È un composto spiccatamente acido (pH 2,5).

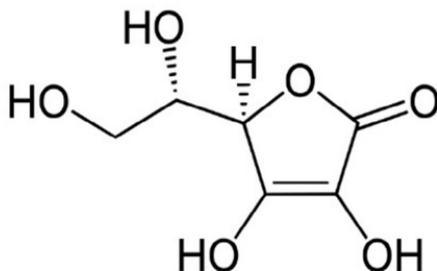


Figura 9 – Acido ascorbico

Vanta molteplici proprietà benefiche, tra cui, in particolare:

- è un ottimo antiossidante che combatte i radicali liberi, responsabili di invecchiamento, aterosclerosi, infarto....
- è utile nella produzione di anticorpi e quindi in caso di malattie infiammatorie.

- è essenziale nella rimarginazione di ferite e ustioni.
- diminuisce i livelli di acido urico e quindi è ottima per la prevenzione dell'iperuricemia e della gotta.
- riduce il livello di colesterolo.

Per soddisfare il bisogno giornaliero della vitamina C basta consumare solo due arance e mezzo.

### Folati (vitamina B9) nel succo

Importantissimi sono anche i folati. Col termine “acido folico” si denota sia l'acido in sé che i folati: in realtà i folati sono le vitamine nella loro forma naturale, presenti negli alimenti mentre l'acido folico è la forma ossidata della vitamina, ed è quindi una molecola sintetizzata, presente nei formulati vitaminici (per esempio, nelle compresse o negli integratori) ed aggiunta negli alimenti detti “fortificati”.

Si tratta di vitamine del gruppo B, in particolare è la vitamina B9 o folacina (dal latino folium) presenti nel limone nella misura di 20 µg, e nell'arancia nella quantità di 30 µg per 100 g di prodotto (Figura 10).

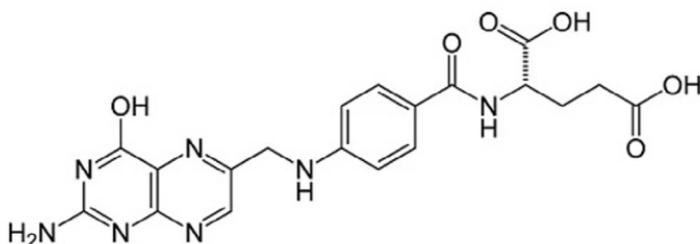


Figura 10– Folacina

Queste vitamine sono indispensabili:

- nei processi di sintesi del DNA, per il corretto sviluppo del feto e durante la crescita; l'acido folico, pertanto, è fondamentale durante la gravidanza;
- perché sono molecole antianemiche in quanto concorrono alla formazione da parte del midollo osseo dell'emoglobina;
- perché garantiscono il corretto assorbimento di zuccheri e proteine;
- perché aiutano a ridurre i livelli ematici di omocisteina, un amminoacido il cui elevato valore aumenta il rischio di sviluppare malattie cardiovascolari.

Il fabbisogno giornaliero di folati per un adulto è pari a 0,2 mg. Durante la gravidanza, però, le future mamme devono assumerne una quantità doppia poichè il feto utilizza le riserve materne di acido folico.

Altre vitamine sono inoltre presenti nel succo:

- niacina o vitamina B3 o PP  
(0,3 mg nel limone e 0,2 mg nell'arancia)
- tiamina o vitamina B1  
(0,04 mg nel limone e 0,06 mg nell'arancia)
- riboflavina o vitamina B2  
(0,01 mg nel limone e 0,05 mg nell'arancia)
- vitamina A nell'arancia (71 µg)

### **Sali minerali nel succo**

Fra i sali minerali balza subito all'occhio l'ingente quantitativo di potassio: nel limone, per 100 g di prodotto, vi sono 140 mg di potassio, mentre nell'arancia ve ne sono addirittura 200 mg!

Le proprietà di questo sale minerale sono le seguenti:

- serve a convertire in glicogeno il glucosio del sangue, aiutando così l'organismo a fornire energia ai muscoli.
- protegge il sistema scheletrico, i capelli e la pelle.
- aiuta a eliminare i liquidi in eccesso.
- regola l'equilibrio acido-base.

Il calcio è presente con 14 mg nel limone e 49 mg nell'arancia.

Altro sale minerale è il fosforo contenuto in quantità pressoché uguali nel limone e nell'arancia: rispettivamente 16 mg e 17 mg.

La sua importanza è data dal fatto che:

- partecipa alla formazione della struttura ossea;
- serve a produrre composti organici ricchi di energia.
- mantiene in buona salute i denti.

Vi è poi il magnesio. Il magnesio nel limone è pari a 7 mg, mentre nell'arancia a 11 mg.

Esso è indispensabile per:

- formare il tessuto osseo insieme al calcio e al fosforo.
- controllare la trasmissione degli impulsi nervosi e la contrazione muscolare.
- combattere l'invecchiamento.

Infine, vi è il sodio presente con 2 mg nel limone e 3 mg nell'arancia e, da ultimo, il ferro presente, sempre in 100 g di prodotto, con 0,1 mg nel limone e 0,2 mg nell'arancia.

## Bibliografia

- Alberghina, L., Colangelo, A.M., Tonini, F. (2014). *La biochimica*, A. Mondadori Scuola, Milano.
- Borgiali C., Borries S., Matteucci A. (2012). *Processi e modelli di chimica e biologia*, De Agostini, Novara.
- Cestaro, M. (2014). *Limonene: una molecola molto speciale*, ppt presentato alla giornata di formazione per insegnanti “Insegnare chimica con passione!”.
- Grosso, G., Galvano, F., Mistretta, A., Marventano, S., Nolfo, F., Calabrese, G., Buscemi, S., Drago, F., Veronesi, U., Scuderi, A. (2013). *Red orange: experimental models and epidemiological evidence of its benefits on human health. Oxid Med Cell Longev. Review.*
- Hoffer A., Pauling L. (2015). *Guarire il cancro*, Macro edizioni, Cesena.
- Mammi, S. (2015). Note e consulenza, università di Padova.
- Martin, C. (Department of Metabolic Biology, John Innes Centre), (2014) Conferenza “*Addressing food security thorough nutritional enhancement of food*”, Norwich, UK.
- Raiser, U., (2010). *Limone. Un miracolo della natura*, ed. del Balbo, Castelnuovo del Garda VR
- Santi, S. (2015). Note e consulenza, università di Padova.
- Tofani, D. (2015). Note e consulenza, università Roma 3.
- Valitutti, G., Fornari, G., Gando, MT. (2012). *Chimica organica, biochimica e laboratorio*, quarta edizione, Zanichelli, Bologna.
- Valitutti e al. (2015). Dal carbonio agli OGM, Zanichelli, Bologna.

## Sitografia

- <http://www.benessere360.com/proprietà-del-limone>
- <https://www.biologiawiki.it/wiki/limonene>
- <http://www.chimica-online.it/organica/vitamine/vitamina-C>.
- <http://www.dentosofia.it/blog/la-masticazione-puo-influen>
- <http://www.farmaciaerbe.it/cos-limonene>

- <https://www.farmacologiaoculare.wordpress.com/2010/04/23/acido-ascorbico-vitamina-c-e-cataratta/>
- <https://www.fondazioneveronesi.it/articoli/alimentazione/del-limone-e-la-scorza-la-parte-piu-benefica>
- <https://www.fondazioneveronesi.it/magazine/articoli/alimentazione/antocianineecco-le-prove-scientifiche-della-loro-efficacia-il-cuore>
- <http://www.limmi.it/i-frutti>
- <http://www.mskcc.org/cancer-care/herb/d-limonene> (Memorial Solan Kettering Cancer Center)
- <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1470060> (National Center for Biotechnology Information)
- <http://www.treccani.it/enciclopedia/limonene>
- <http://www.unife.it/farmacia/lm.ctf/insegnamenti/minisiti-a.a.-2010-2011/biologia-vegetale-farmacognosia-a.a.2010-2011-gruppo-a-l/materiale-didattico-modulo-di-farmacognosia-1/Droghe%20a%20terpeni.pdf>
- <http://www.uniroma2.it/didattica/limonene>
- <http://www.valori-alimenti.com>
- <http://www.whatischemistry.unina.it/it/enantiomers>



### 3. Quanto hai diluito la bibita? Un approccio particolare alla taratura degli strumenti

*Enrico Paschetta, Samuele Fiammetta*

Ils Giulio Natta, Rivoli (TO)

**Abstract.** Viene illustrato un metodo per insegnare il concetto di taratura degli strumenti agli studenti del biennio delle scuole secondarie di secondo grado. Si spiega come utilizzare la principale vetreria del laboratorio di chimica per la produzione degli standard e la misurazione dei campioni. Si illustra inoltre come utilizzare lo smartphone in modo da ottenere una misura spettrofotometrica della concentrazione. Viene evidenziata l'interdisciplinarietà dell'attività e la possibilità di sviluppare un ragionamento complesso che porta allo sviluppo della capacità di osservazione e di *problem solving*.

## Introduzione

Lo studio delle materie scientifiche nel biennio delle scuole secondarie di secondo grado si pone tra gli obiettivi principali quello di sviluppare il ragionamento scientifico, imparando quindi ad osservare i fenomeni, individuare i dati su cui focalizzare l'attenzione, utilizzare i concetti appresi con lo studio teorico per comprendere i fenomeni reali.

Per raggiungere efficacemente questo obiettivo è necessario che l'attività di studio teorico proceda in stretta correlazione con l'attività di laboratorio, in modo da far crescere negli studenti non solo il sapere ma soprattutto il saper fare.

Nello studio della chimica spesso vengono proposte attività utili per imparare a lavorare in un laboratorio... degli anni 80. Spesso vengono infatti proposte metodiche di analisi efficaci, utili a fissare i concetti illustrati in teoria, però superate dalla tecnologia attuale. Negli ultimi anni, la strumentazione analitica e l'evoluzione dell'elettronica hanno reso rapidamente obsolete le tecniche di analisi tradizionali. Chiaramente, risulta difficile per una scuola adeguarsi all'evolversi della tecnologia: un conto è dar modo ad ogni studente di maneggiare la vetreria tradizionale, che ha un costo contenuto, un altro è dotare ogni studente di strumenti come gli spettrofotometri IR e UV-VIS, lo spettrometro di massa, i cromatografi. Per questo motivo, anche le scuole più attrezzate possono riuscire a proporre attività di tipo dimostrativo, in cui il singolo studente difficilmente riesce ad interagire con gli strumenti, sentendosi quindi meno coinvolto in prima persona nel lavoro che sta svolgendo.

Bisogna poi considerare che la scuola non ha l'obiettivo di formare gli studenti sull'utilizzo di un singolo strumento, il quale probabilmente sarà già obsoleto quando

gli studenti termineranno il corso di studi. La scuola ha invece l'obiettivo di trasmettere un metodo per comprendere l'utilizzo di un gran numero di strumenti, dando modo agli studenti di sviluppare la capacità di imparare ad imparare, utilizzando basi intellettuali solide e versatili.

Considerate queste premesse, è stata elaborata una semplice esperienza per insegnare il concetto di taratura degli strumenti elettronici, utilizzando lo smartphone per misurare per via colorimetrica la concentrazione di una soluzione incognita.

### **Prerequisiti**

Per svolgere efficacemente questa esperienza, gli studenti devono conoscere i seguenti argomenti:

- la concentrazione
- il piano cartesiano
- la retta
- la correlazione lineare

### **Inizio dell'esperienza**

L'esperienza inizia con una domanda- stimolo: “come si fa a capire se una bevanda è stata diluita, senza assaggiarla?”. Da una breve discussione emerge facilmente che il colore può essere un valido aiuto. Chiaramente una bibita a cui è stata aggiunta dell'acqua presenterà un colore più tenue rispetto ad una pura. Resta però un problema aperto: come si può fare a capire quanto è stata diluita la bibita?

Da questa semplice domanda emerge un concetto molto importante: per poter misurare è necessario avere

dei numeri. I colori infatti possono far capire che è presente più acqua del normale, però non possono indicare quanta acqua è stata aggiunta, in quanto non sono immediatamente associabili ad un numero.

Proseguendo con questo ragionamento, si fa notare agli studenti che esistono vari modi per individuare in maniera oggettiva un colore. Esistono infatti vari modelli per abbinare ad ogni colore una serie di numeri. Molte fotocamere usano il modello RGB, esiste però anche il modello HSV.

### Lo spazio di colore HSV.

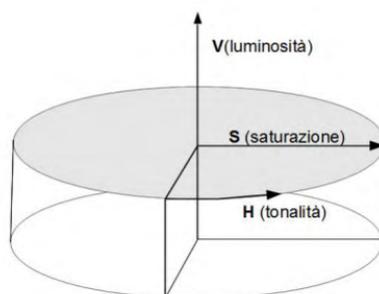


Figura 1- Lo spazio di colore HSV

Questo modello si basa sulla creazione di uno spazio di colore. Ogni punto di questo spazio, indicato con una serie consecutiva di tre numeri, rappresenta un colore specifico.

Lo spazio di colore che viene definito ha una forma cilindrica (Figura 1). Per semplificare la spiegazione si può considerare questo cilindro come attraversato da vari piani. Su ogni piano viene quindi definita un'area circolare.

Per definire un punto all'interno del cerchio, vengono utilizzate le coordinate polari, quindi ci sarà un nume-

ro (H) che sarà espresso come angolo, misurato in gradi, seguito da un secondo numero (S) che sarà espresso come una percentuale ed indicherà la distanza del punto in esame rispetto al centro. Un terzo numero (V), sempre espresso in percentuale, servirà a definire la posizione del piano su cui si trova il cerchio rispetto alla base del cilindro.

Il parametro H è quello che definisce la tonalità. Ad ogni angolo è abbinata una specifica tonalità di colore che risulta come la combinazione dei colori fondamentali, secondo la Tabella 1.

<b>Angolo</b>	<b>Colore</b>
0-60	Rosso
60-120	Giallo
120-180	Verde
180-240	Azzurro
240-300	Blu
300-360	Magenta

Tabella 1 – Angoli e colori

Il parametro S rappresenta la saturazione, cioè la quantità di grigio presente in un colore. Un valore pari allo 0% indica un punto corrispondente al centro del cerchio, quindi indica semplicemente un grigio, non un colore specifico. Un valore pari al 100%, individuando un punto situato sulla superficie laterale del cilindro, indica invece un colore in cui il grigio è completamente assente.

Il parametro V indica la luminosità, cioè il rapporto tra il nero e il bianco presenti nel colore. Un valore pari allo 0% indica un colore completamente nero. Procedendo verso il 100% aumenterà la quantità di bianco.

## Uso del modello HSV

L'esistenza di un modello per rappresentare la realtà non è sufficiente a consentire la misurazione di un fenomeno. Per misurare infatti è necessario sempre uno strumento di misura.

Nel caso specifico, esiste una applicazione scaricabile sullo smarphone che utilizza il modello HSV per identificare in modo univoco un colore. Questa applicazione si chiama Color Grab.

L'utilizzo dell'applicazione è molto semplice: è sufficiente fotografare una superficie colorata e leggere i numeri che vengono elaborati dal programma. La semplicità operativa può portare ad un approccio ingenuo da parte degli studenti. Usando lo smarphone infatti è evidente che i numeri misurati cambiano al cambiare della concentrazione, quindi viene spontaneo pensare che questi numeri indichino essi stessi la concentrazione, così come ad esempio le tacche sul righello indicano la lunghezza.

Dopo una discussione guidata emergono però i seguenti problemi:

1. I numeri sono 3, quale bisogna guardare?
2. Come si può correlare un numero alla concentrazione?

Per risolvere il primo problema, emerge la necessità di verificare una relazione lineare tra la concentrazione e ogni numero misurato. Si vede così che solo il numero associato a  $S$  ha questa caratteristica. L'osservazione pratica trova una spiegazione teorica abbastanza intuitiva: se si diluisce una soluzione colorata, è impossibile che cambi la tonalità del colore, così come è impossibile che cambi la luminosità. Risulta invece facile pensare che si modifichi la saturazione, cioè che il colore diventi sempre più 'pallido'.

Per risolvere il secondo problema, emerge la necessità di compiere delle misure su campioni noti, in modo da costruire una retta per associare ad ogni concentrazione un valore di  $S$ .

Svolgendo le prime misurazioni, si nota subito una grande variabilità dei risultati. Da questa constatazione emerge la consapevolezza che per misurare un parametro è necessario che tutte le altre condizioni restino costanti. bisogna quindi standardizzare il lavoro.

### La costruzione dello strumento

Per standardizzare il lavoro, è necessario capire quali parametri sono significativi. I parametri individuati sono i seguenti:

1. costanza della luce
2. costanza della quantità di soluzione
3. costanza della distanza relativa tra lo smartphone e la soluzione.

Per mantenere costanti questi parametri, basta posizionare lo smarphone come nella figura 2.

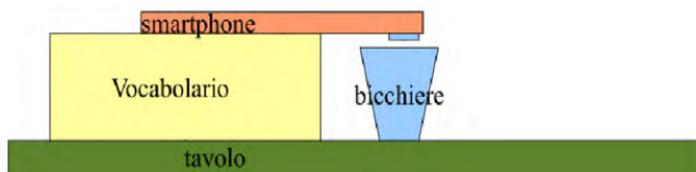


Figura 2 – Lo strumento di misura

Dato che sia lo smarphone che il bicchiere che funge da portacampione hanno una posizione costante, i punti

1 e 3 sono soddisfatti. La luce dell'ambiente può variare nel tempo, però l'attività di misura dura qualche minuto, quindi il cambiamento non è significativo.

Per quanto riguarda il punto 2, è intuitivo che un bicchiere pieno mostra un colore diverso rispetto ad un bicchiere quasi vuoto. Per questo, è necessario che nel bicchiere ci sia sempre la stessa quantità di soluzione.

### **La costruzione degli standard e la retta di taratura**

Per la costruzione degli standard è consigliato dividere la classe in gruppi da 4 persone. In una classe media, si riescono a fare 6 gruppi, si ha quindi la possibilità di avere 6 serie di standard e 6 rette di taratura. Si possono così utilizzare bevande dal colore diverso e avere più di una prova per ogni bevanda. La prova che viene descritta in questo articolo è stata svolta utilizzando il ginger (rosso) e la cedrata (gialla).

All'interno di ogni gruppo, ogni studente ha un matraccio, una pipetta graduata, una spruzzetta e un bicchiere. Ogni studente deve preparare una soluzione con una data percentuale in volume, prelevando dalla bottiglia la giusta quantità di bevanda e portando a volume il matraccio nel modo corretto.

In questo modo, ogni gruppo avrà 4 soluzioni standard a cui si aggiunge il tal quale, quindi ci saranno 5 punti in totale. Per ogni standard è necessario prelevarne con la pipetta una certa quantità (ad esempio 10 ml), metterla nel bicchiere e misurare il parametro S.

Misurando ogni standard e mettendo tutti i dati su un foglio excel, si otterrà una tabella di dati. A questo punto sarà necessario ottenere la retta di regressione, come nella Figura 3.

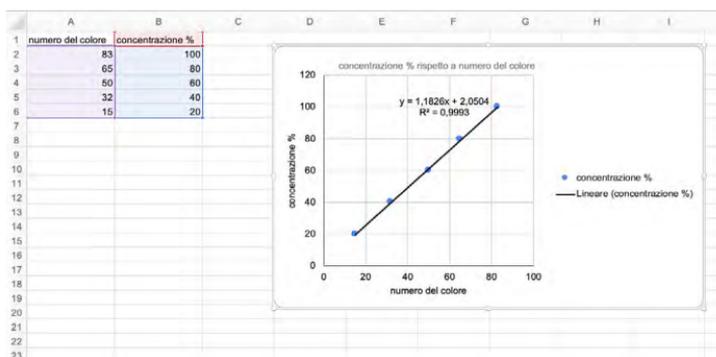


Figura 3 – Tabella e retta di regressione

## Considerazioni sulla retta di taratura

La retta viene ottenuta utilizzando il metodo dei minimi quadrati. Dato che questo metodo è solitamente spiegato a livello universitario e non viene trattato nelle scuole superiori, si riporta in questa sede una spiegazione semplificata, dato che la dimostrazione matematica esula da un corso di chimica del primo biennio della scuola secondaria di secondo grado.

Dato che per determinare la retta si utilizzano valori sperimentali, non è possibile che i punti ottenuti sul grafico siano perfettamente allineati. Per questo motivo, non è possibile tracciare una retta che includa tutti i punti. Risulta però possibile determinare una retta che passi più vicina possibile a tutti i punti segnati. Per individuare questa retta, il metodo dei minimi quadrati prevede di costruire per ogni punto sperimentale un quadrato che ha come lato la distanza verticale tra il singolo punto e la retta di regressione.

La retta di regressione migliore è quella che ha la minor somma dei quadrati costruiti per ogni punto. Questo

tipo di calcoli vengono svolti dal programma, non vengono proposti agli studenti in quanto non sono alla loro portata.

Per valutare se si può assumere che i valori del parametro  $S$  ottenuti con lo smartphone e quelli delle concentrazioni siano uno la causa dell'altro, è utile determinare il parametro  $R^2$ , che è il coefficiente di determinazione. Questo parametro esprime la variabilità della variabile dipendente correlabile alla variabile dipendente. Se questo valore corrisponde ad 1, vuol dire che al raddoppiare del valore di  $X$  raddoppia anche il valore di  $Y$ , cioè il punto preso in esame si trova sulla retta di regressione. Più il valore si avvicina a 0, meno questa correlazione è rilevabile.

Nel caso in esame, si considerano buoni valori di  $R^2$  fino a 0,98, infatti è possibile ottenere delle rette di buona qualità con questi semplici strumenti.

Dal punto di vista concettuale, sarebbe meglio indicare come variabile indipendente la concentrazione e come variabile dipendente il valore di  $S$ , infatti l'attività presuppone di produrre delle soluzioni e di misurarne il colore. Viene scelto di svolgere l'attività così come viene descritta perchè in questo modo risulta più agevole l'impostazione del foglio di calcolo. Se le concentrazioni fossero la variabile indipendente, sarebbe necessario procedere all'impostazione di una formula inversa per determinare il campione incognito. Questo potrebbe creare un'ulteriore difficoltà agli studenti che già stanno seguendo un ragionamento complesso.

Dall'osservazione delle rette di taratura e del parametro  $R^2$ , emergono due problematiche distinte.

1. la qualità della retta è influenzata da uno o più punti non allineati.

In questo caso possono esserci 4 motivi:

- uno o più studenti non hanno preparato bene il loro standard.

- qualcuno ha messo nel bicchiere di misura una quantità diversa da quella indicata.
  - lo strumento si è mosso, oppure la luce è cambiata per qualche motivo (il sole gira, uno studente ha fatto ombra, qualcuno ha spento il lampadario).
  - non è stato usato lo stesso smartphone per le 5 misure (ogni fotocamera ha le sue caratteristiche e misura in modo leggermente diverso).
2. i punti hanno un andamento palesemente non lineare, come in Figura 4.

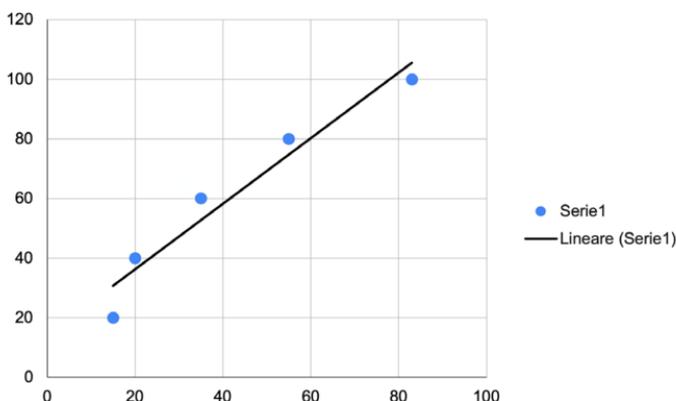


Figura 4 – Andamento non lineare delle misure

In questo caso l'errore è imputabile alle caratteristiche dell'applicazione e della fotocamera.

Lo smartphone è in grado di riconoscere i colori, però ad un certo punto non riesce più a distinguere tra un colore molto saturo e un altro molto più saturo. Per questo motivo, avviene un fenomeno simile all'abbagliamento dell'occhio umano esposto ad una luce eccessiva: lo strumento va in saturazione.

In una situazione così non è utile provare a rifare uno o più punti. La situazione si risolve soltanto diminuendo

la quantità di soluzione nei bicchieri. In questo modo il colore risulta più tenue e l'andamento dei punti torna lineare.

Dalle considerazioni sulla qualità delle rette e dal confronto tra i risultati ottenuti dai vari gruppi emergono alcuni aspetti importanti relativi all'uso di strumenti elettronici di misura:

1. bisogna saper contestualizzare i dati;
2. bisogna essere in grado di riconoscere la causa di un problema per risolverlo;
3. ogni strumento ha una propria taratura, non ha senso usare i punti ottenuti con uno smartphone per tararne un altro.

### **La misura del campione incognito**

La misura del campione incognito si svolge in modo analogo alla misura di uno standard: si preleva la giusta quantità di soluzione e si determina il parametro S.

Per arrivare alla concentrazione però è necessario impostare una formula sul foglio excel.

Avendo impostato i dati come nella figura 3, si vede che il parametro S (lì definito numero del colore) è la variabile indipendente mentre la concentrazione è la variabile dipendente.

Questo tipo di impostazione permette di impostare semplicemente la formula della retta, in modo da determinare y partendo da x.

Facendo riferimento alla Figura 3, si dovrebbe scrivere nella casella A8:

$$=Regr.Lin(A2:A6;B2:B6)$$

in modo da ottenere il valore della pendenza e dell'intercetta.

Bisogna poi inserire nella casella B11 la formula:

$$=A8*A11+B8.$$

In questo modo, scrivendo in A11 il valore di S del campione incognito, si ottiene automaticamente la misura della concentrazione, così come mostrato nella figura 6.

numero del colore	concentrazione %
83	100
65	80
50	60
32	40
15	20
1,182645206	2,050384885
lettura	concentrazione
65	78,9223233

Figura 6 – Calcolo della concentrazione incognita.

## Conclusioni

Questa semplice esperienza presenta il vantaggio di utilizzare nozioni di matematica, informatica e fisica per consentire di svolgere una misurazione di natura chimica. Grazie alla sua interdisciplinarietà, questa esperienza è utile per svolgere un percorso di scienze integrate nel biennio della scuola superiore.

La possibilità di utilizzare le conoscenze relative alla vetreria da laboratorio in un contesto multidisciplinare contribuisce a costruire senso nell'apprendimento, uscendo da un approccio alla cultura “a compartimenti stagni” e invogliando ad utilizzare le conoscenze apprese per raggiungere un obiettivo più complesso.

Il metodo esposto in questo articolo è comune all'utilizzo di molti strumenti presenti nei laboratori chimici. Questa caratteristica contribuisce a creare una forma

mentis utile per il mondo del lavoro, senza soffermarsi sul funzionamento dettagliato di un singolo strumento.

In molti campi della scienza e della tecnologia è molto utile sapere contestualizzare un dato, saper procedere per tentativi ed errori e essere in grado di elaborare una strategia per raggiungere un risultato. Si ritiene che questo tipo di attività, qualora posto in maniera sfidante e guidato nel modo corretto, possa contribuire ad allenare le competenze necessarie per formare persone non meramente esecutive ma capaci di ragionare e di intervenire in maniera competente nelle loro attività.

## **Bibliografia**

[https://it.wikipedia.org/wiki/Hue\\_Saturation\\_Brightness](https://it.wikipedia.org/wiki/Hue_Saturation_Brightness)

Daniel Bengtsson · Lilla Jónás · Mirosław Los, Marc Montangero · Márta Gajdosné Szabó. How deep is your blue? Coloured chemistry with smartphones. <http://www.science-on-stage.eu>

<https://www.slideshare.net/KittuSahani/hsv-color-model>

[http://www.quadernodiepidemiologia.it/epi-mobile/cause/coef\\_cor.htm](http://www.quadernodiepidemiologia.it/epi-mobile/cause/coef_cor.htm)

#### **4. “Segnali di fumo” ovvero come far capire ai ragazzi i pericoli del tabagismo attraverso un semplice esperimento.”**

*Claudia Mazzucato, Luca Pavanello*

I.I.S. “Veronese-Marconi” sede di Cavarzere (VE)

**Abstract.** Nell’ottica degli obiettivi della nuova disciplina “Educazione Civica” e in linea con le ormai rodate tematiche trattate nei percorsi pluridisciplinari complessivamente denominati “Educazione alla salute”, si è deciso di affrontare, con i nostri alunni più giovani, il tema del tabagismo. L’iniziazione al vizio del fumo coincide spesso con il passaggio alle scuole superiori, vuoi per spirito di emulazione, vuoi per farsi accettare dal gruppo, vuoi per sembrare già grandi, le motivazioni sono le più classiche. Proprio perché ha radici così diffuse e profonde l’argomento è da molti anni trattato con i ragazzi, soprattutto, ma non solo, sotto l’aspetto della salute, con progetti e attività portati avanti dai docenti di biologia. Dallo scorso anno scolastico, però, abbiamo pensato di affrontare il fumo di sigaretta dal punto di vista pratico, rendendo visibile il suo contenuto nel laboratorio di chimica e confrontando diversi tipi di sigarette, da quelle classiche a quelle senza filtro, da quelle preparate a mano fino a quelle elettroniche di ultima generazione. I ragazzi sono rimasti impressionati dai risultati: obiettivo centrato!

Da settembre 2020 è entrata a far parte del percorso istruttivo scolastico una nuova tematica che mira a promuovere la convivenza armoniosa e a favorire lo sviluppo proficuo delle persone e delle comunità in cui esse vivono. Questa nuova disciplina è l'Educazione civica.

Essendo una materia trasversale, che abbraccia più settori, in accordo con gli altri docenti del dipartimento di scienze, abbiamo deciso di declinarla all'interno delle iniziative di "Educazione alla salute" con un progetto che sensibilizzasse i ragazzi indipendentemente dalla loro età. Abbiamo fatto questo in un'ottica sia di tutela e prevenzione della salute, in quanto la promozione della salute non è una responsabilità solo dei sistemi sanitari, sia di educazione scientifica.

Il diritto alla salute non può che rafforzarsi a partire da percorsi di formazione-informazione, affidando un ruolo sempre più attivo al sistema di educazione scolastica. La Scuola è il luogo privilegiato dove imparare a stare bene perché è un riferimento per i ragazzi che a scuola sviluppano competenze, conoscenze e abilità da spendere consapevolmente per la tutela della propria salute e nell'adozione di stili di vita corretti, contribuisce poi alla formazione della persona ed infine facilita la partecipazione delle famiglie a percorsi formativi e informativi contribuendo ad educare la cittadinanza.

Alla luce di queste premesse ci è sembrato doveroso intraprendere insieme ai ragazzi del primo, secondo e terzo anno del corso di studi di Biotecnologie sanitarie dell'IIS Veronese-Marconi della sede di Cavarzere (VE), un percorso di responsabilizzazione nei confronti di una questione che interessa moltissimi alunni a partire dalla giovanissima età: il fumo.

Parlare genericamente dei danni del fumo di sigaretta, purtroppo, non ha mai avuto molta presa sui ragazzi. Abbiamo pensato che far vedere cosa c'è in quel fumo

potesse, invece, catturare la loro attenzione e stimolarli ad una riflessione. Un semplice esperimento eseguito nel laboratorio di chimica può raggiungere due obiettivi: primo rendere visibile quello che si aspira fumando una sigaretta, secondo abituare ad applicare il metodo scientifico e ad usarlo come chiave, non solo per capire meglio il mondo che ci circonda, ma, anche, per prendere consapevolmente decisioni che riguardano la nostra salute e di questi tempi non è cosa da poco!

L'argomento è stato, poi, sviluppato dalla docente di Igiene e anatomia, che ha spiegato e approfondito i rischi per la salute del fumo di sigaretta.

Alla base del progetto c'è stata l'analisi dei dati che interessano i primi approcci con il fumo degli adolescenti. Circa il 15% degli adolescenti ha provato il fumo di sigaretta già a 13 anni, il 3% a 11 anni; l'Italia è al quarto posto al mondo per percentuale di quindicenni fumatori (dati raccolti dall'OMS); circa 3 quindicenni su 10 continua il rapporto con una netta prevalenza delle ragazze (33%) sui ragazzi (24%). Negli ultimi 10 anni la percentuale di adolescenti fumatori è aumentata dal 19.4% al 28,5% introducendo oltre alle classiche sigarette anche quelle elettroniche senza combustione (ministero della salute-indagine sui giovani GYTS 2018).

I ragazzi sono più vulnerabili ad iniziare questo vizio per paura di un'esclusione sociale, si sentono socialmente insicuri e temono di essere esclusi; credono che permetta d'integrarsi più facilmente in un gruppo, influisce quindi un fattore di pressione sociale; lo vedono un modo per sfuggire al controllo dei genitori, per di più, fumare è un comportamento accettato dal mondo degli adulti, è visto come una forma per affermarsi nella società.

Il divieto è controproducente. Tenendo presente che gli adolescenti non sono dipendenti dal fumo ma voglio-

no solo dimostrare che possono “fare quello che vogliono”, è nato questo progetto volto ad educare e sensibilizzare con un dialogo costruttivo.

### **Un semplice esperimento per rendere vivo il contenuto del fumo di sigaretta**

L'idea era di trovare una metodologia semplice per i ragazzi e non dispendiosa dal punto di vista economico. Abbiamo così chiesto agli studenti di procurarsi una semplice bottiglia di plastica da 1.5 – 2 litri, il resto lo ha fornito l'istituto essendo materiali di facile reperibilità all'interno di un laboratorio.

La prima parte del procedimento consiste nel prendere la bottiglia di plastica della capacità di 1.5 – 2 litri e praticare un foro sul tappo in modo che sia possibile inserire la sigaretta dalla parte del filtro. Il foro sul tappo si effettua molto facilmente utilizzando una bacchetta di vetro, resa incandescente grazie alla fiamma del bunsen e successivamente adagiata sul tappo fino a completa foratura di questo. Per tale procedimento ci si può fornire anche di un taglierino o qualsiasi altro strumento che permetta di forare sia il tappo della bottiglia che la bottiglia stessa. Una volta terminato questo si può procedere con l'inserimento della sigaretta nel foro in modo che il filtro della sigaretta sia quasi inserito totalmente, facendo molta attenzione a sigillare perfettamente il foro con la sigaretta inserita utilizzando del nastro adesivo o della plastilina.

Con lo stesso metodo della bacchetta di vetro resa incandescente sopra descritto si pratica un foro sulla bottiglia nella parte inferiore, a circa 3-4 centimetri dalla base, e si procede all'inserimento di una cannucchia di plastica. Anche in questo caso si deve prestare molta

attenzione alla sigillatura del foro alla base con del nastro adesivo o della plastilina. Si avvanza con il chiudere l'estremità esterna della cannuccia con una pinzetta o un piccolo tappo.

Ora, facendo attenzione a non urtare e rovinare la sigaretta precedentemente inserita all'apice della bottiglia, si svita il tappo e si riempie quasi completamente il contenitore con acqua di rubinetto e si procede al riposizionamento del tappo con la sigaretta inserita e sigillata.

Prima di accendere la sigaretta e dare il via all'esperimento, è necessario trovare un punto sul bancone che permetta di raccogliere l'acqua che ne uscirà, in caso non si trovi si può usufruire di un becher molto capiente. Fatto questo si accende la sigaretta e, contemporaneamente, si apre l'estremità della cannuccia in modo da permettere all'acqua di fuoriuscire. Il deflusso dell'acqua creerà una diminuzione di pressione all'interno della bottiglia, simulando in questo modo l'aspirazione da parte del fumatore.

Quando tutta la sigaretta si sarà consumata, si svita velocemente il tappo si va a coprire l'apertura della bottiglia con della carta (filtro, assorbente, fazzolettini) e si richiude l'estremità della cannuccia, da dove fuoriesce l'acqua. La carta deve essere ben fissata all'apertura e per fare questo ci si serve di elastici. Questo passaggio va effettuato a grande velocità.

Utilizzando la cannuccia inserita alla base della bottiglia, si soffia con forza in modo da far fuoriuscire il fumo dalla parte del collo della bottiglia (dove all'inizio era avvitato il tappo con inserita la sigaretta).

Quando tutto il fumo contenuto nella bottiglia sarà uscito passando attraverso la carta, si toglie l'elastico, si rimuove la carta e si osserva il materiale che vi è stato trattenuto e che sarebbe finito nei polmoni del fumatore.

Ripetere l'esperimento con vari tipi di sigarette.

La parte più difficoltosa dell'esperimento è stata quella di costruire lo strumento in maniera ottimale, questo step ha necessitato di più prove da parte degli studenti in modo da perfezionarlo per minimizzare la dispersione di fumo durante l'aspirazione e rendere l'esperimento più visibile. Nelle Figure 1-5 sono mostrati alcuni momenti delle attività svolte dagli studenti.



Figura 1 – Bottiglia con inserita la sigaretta e il tubicino per lo scarico dell'acqua



Figura 2 – Bottiglia con sigaretta accesa e scarico dell'acqua aperto



Figura 3 – Bottiglia che si sta lentamente riempiendo del fumo della sigaretta



Figura 4 – Bottiglia con il fumo dell'intera sigaretta

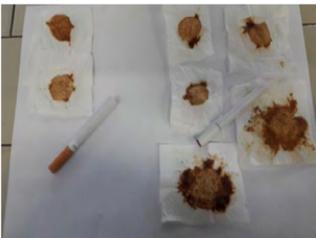


Figura 5 – Materiale trattenuto dalla carta attraversata dal fumo della bottiglia. A sinistra sigaretta con il filtro a destra sigaretta senza filtro

## Conclusioni

Prima di arrivare alle conclusioni, è opportuno precisare che, a causa dei lunghi periodi di lockdown imposti alla scuola dall'emergenza Covid, questa esperienza è stata svolta l'ultima settimana dell'anno scolastico 20/21. È stata, quindi, un unicum, senza possibilità di ripetere il procedimento perfezionandolo e senza neppure poter raccogliere le relazioni dagli studenti con i loro feedback!

Il progetto è stato, comunque, accolto molto positivamente dai ragazzi, che si sono attivati per recuperare il materiale necessario e per mettere a punto un sistema il più efficace possibile (con i mezzi a disposizione) per raccogliere il fumo di sigaretta. Gli alunni coinvolti sono rimasti molto impressionati dai risultati ottenuti, forte è stato il loro stupore nel vedere quanto residuo lasciava sulla carta il fumo di una sola sigaretta.

L'esperienza verrà ripetuta i prossimi anni scolastici, implementando la parte quantitativa, per esempio pesando la carta prima e dopo, facendo passare il fumo di più sigarette sullo stesso foglio di carta, confrontando diversi tipi di sigarette (da quelle auto prodotte a quelle elettroniche). Gli alunni delle classi quarta e quinta potrebbero fare sia analisi cromatografiche che spettrofotometriche sui residui raccolti.

Un'idea potrebbe essere quella di proporre agli alunni più grandi di effettuare l'esperimento durante gli stage dei ragazzi di terza media nel periodo dell'orientamento in entrata, aggregando più obiettivi: peer education, educazione alla salute e, soprattutto, far capire che la chimica non è solo esplosioni e vapori puzzolenti, ma che permette di analizzare e comprendere meglio, non solo il mondo che ci circonda ma, anche, ciò che ci riguarda da vicino.

Infine, sarebbe interessante, a distanza di tempo, fare un sondaggio tra i ragazzi e le ragazze, per verificare se,

effettivamente, l'esperienza svolta ha indotto chi fumava a smettere e chi non fumava a non iniziare proprio (almeno qualcuno).

## **Bibliografia**

- Esperimento sui danni del Fumo - Laboratorio In Casa Bald Mountain Science [https://youtu.be/A\\_zEZaNjRYo](https://youtu.be/A_zEZaNjRYo)
- Esperimenti effetti del fumo sui polmoni. Progetto Dipendenze No Grazie [https://youtu.be/tavGjp\\_eUBE](https://youtu.be/tavGjp_eUBE)
- Il fumo che asfalta i polmoni. Arianna Sconocchini <https://youtu.be/8SixygS8V2Q>



## 5. Molecole al Computer: Calcoli per la Chimica in Classe

*Marco Bortoli<sup>a</sup>, Maristella Cestaro<sup>b</sup>, Alessandra De Togni<sup>c</sup>,  
Laura Gianni<sup>d</sup>, Enrico Lion<sup>e</sup>, Lucia Giuffreda<sup>f</sup>, Roberta  
Predonzan<sup>g</sup>, Rossella Romualdi<sup>h</sup>, Laura Orian<sup>a</sup>*

<sup>a</sup>Dipartimento di Scienze Chimiche Università degli Studi di Padova

<sup>b</sup>I.I.S. Veronese – Marconi di Cavarzere (VE) <sup>c</sup>I.I.S. Ferraris Fermi di

Verona <sup>d</sup>Liceo Ugo Morin via Asseggiano di Mestre (VE) <sup>e</sup>I.I.S. G.A.

Remondini di Bassano del Grappa (VI) <sup>f</sup>IIS Duca degli Abruzzi di

Padova <sup>g</sup>I.I.S. Veronese M. Marconi di Chioggia (VE) <sup>h</sup>I.I.S. Pacinotti

di Mestre (VE)

**Abstract.** In Veneto, nell'ambito del Piano Lauree Scientifiche Chimica e con il supporto dell'Università di Padova, abbiamo realizzato il progetto MC<sup>4</sup> (Molecole al Computer: Calcoli per la Chimica in Classe) mettendo in pratica un approccio combinato di formazione insegnanti e didattica interdisciplinare in classe. Abbiamo promosso un processo di *networking* fra docenti della stessa disciplina ma scuole diverse, ai quali è stato erogato un breve (4 ore) corso teorico-pratico sulle basi della chimica computazionale. Con il supporto di un tutor universitario, ciascun insegnante ha realizzato un laboratorio sull'attività antiossidante di sostanze naturali coinvolgendo gli studenti

in un'attività chimico-computazionale da svolgersi nelle aule di informatica, che costituiscono un'ottima risorsa anche per l'apprendimento della chimica. Abbiamo presentato insieme un progetto al CINECA (ISCRA C HP10C6HUZZ) e gli studenti hanno lavorato direttamente sul supercalcolatore Galileo, a scuola e da casa. Ad attività conclusa gli insegnanti e le classi si sono recati al CINECA per una visita guidata sul tema scienza e super calcolo. È stato monitorato e mantenuto attivo lo scambio tra scuole durante il progetto, che per il suo contenuto didattico, la sua novità e la sua importanza nel contesto di scuola digitale è stato presentato su invito a Job&Orienta 2021 (30 Ed. Fiera di Verona, 25-27 novembre 2021) dedicata al tema "Next generation: orientamento, sostenibilità, digitale" perché segnalato fra le iniziative nazionali realizzate a scuola nell'ambito strategico delle competenze digitali.

## **Introduzione**

Nel Piano nazionale Lauree Scientifiche la formazione degli insegnanti è un'azione centrale. Gli insegnanti sono motivati a seguire percorsi formativi, perché appena entrati nel mondo della scuola o perché alla ricerca di nuovi spunti dopo un'attività pluriennale. Le ragioni possono essere molto diverse e così pure le aspettative. Un denominatore comune è la ricerca di qualcosa che non sia semplicemente una formazione disciplinare. Nuovi contenuti o approfondimenti sono sicuramente importanti, ma tra gli obiettivi figurano anche nuove modalità didattiche e potenziamento delle capacità di insegnare nel contesto scolastico in cui sono inseriti. Per le discipline come la chimica, per le quali ad esempio il laboratorio è una risorsa fondamentale, l'azione didattica dell'insegnante può essere limitata dalla mancanza di una struttura adeguata o un orario ridotto. Un altro

aspetto importante è la condivisione delle esperienze fra insegnanti che si verifica durante gli eventi formativi, che, se promossa, incide molto positivamente sulla formazione. Infine, è utile che l'insegnante, a conclusione dell'attività formativa, possa mettere in pratica quanto appreso idealmente in tempi brevi per finalizzare la sua formazione trasferendo nuove competenze ai ragazzi e misurando direttamente il potenziamento della propria azione didattica.

### **Il progetto MC<sup>4</sup>**

L'attività MC<sup>4</sup> è stata sviluppata per fornire agli insegnanti di scuole secondarie di secondo grado le competenze per organizzare un'attività didattica in ambito chimico computazionale e al contempo coinvolgere gli studenti in un progetto multidisciplinare finalizzato all'acquisizione e applicazione di competenze digitali in ambito scientifico. Il coinvolgimento di docenti di istituti diversi ha permesso di sviluppare l'attività tenendo conto del suo successivo trasferimento a studenti con esigenze diverse perché in possesso di un differente curriculum scolastico. Questo aspetto rende di fatto possibile il progetto in qualsiasi scuola che preveda un corso di chimica.

Un breve corso teorico (4 ore) ha fornito agli insegnanti le nozioni base per poter affrontare l'argomento. In cosa consiste un'attività di chimica computazionale? Tra i punti fondamentali chiariti si evidenzia la differenza fra editor molecolari e programmi di calcolo. I primi consentono semplicemente di disegnare al computer formule o semplici strutture molecolari, oppure leggere coordinate cristallografiche di composti o biomolecole reperibili su web server dedicati. Invece i programmi di

calcolo, gratuiti o a pagamento, consentono ad esempio di ottenere la struttura con la minima energia di un composto ed eventualmente proprietà del composto stesso (momento di dipolo, densità di carica,...) che aiutano a comprenderne e/o prevederne la reattività chimica, ma anche permettono di realizzare in silico veri e propri esperimenti complessi come il calcolo di osservabili spettroscopici (spettri IR, spettri di assorbimento UV-vis,...). Inoltre, agli insegnanti è stato spiegato come il calcolo delle proprietà strutturali ed elettroniche di un composto chimico si basa sulla meccanica quantistica, i cui formalismi vengono marginalmente trattati nei corsi di chimica a scuola. Tuttavia, nell'esperienza proposta, insegnanti e studenti hanno calcolato energie libere di reazione, ovvero la variazione di energia a seguito di un processo che porta da reagenti a prodotti, per le quali le conoscenze di base sull'equazione di Schrödinger sono state sufficienti. Più importante invece è stato il ruolo dell'insegnante nella fase immediatamente precedente al laboratorio, che deve prevedere un paio di lezioni in classe sulla categoria di reazioni chimiche studiate e richiami di termochimica per definire in modo chiaro l'energia di reazione e la sua correlazione con il verso spontaneo della reazione stessa.

Il laboratorio presso la scuola (4 ore) è stato organizzato con la supervisione di un tutor dell'Università degli Studi di Padova e con la collaborazione del centro di calcolo CINECA che ha fornito l'accesso e un budget di ore calcolo sulle sue infrastrutture per realizzare l'esperienza. Quest'ultimo aspetto ha avuto un duplice impatto positivo: ha permesso la raccolta di molti dati in tempi brevi (qualche settimana), cosa non possibile sui normali personal computer, e ha avvicinato insegnanti e studenti al mondo del supercalcolo che nella società moderna è indispensabile alla scienza ma anche a tanti

servizi pubblici dei quali beneficiamo. Infine, una visita guidata alle infrastrutture del centro di calcolo nazionale CINECA a Casalecchio di Reno (BO) ha permesso agli studenti di vedere in prima persona gli strumenti utilizzati durante l'attività.

### **Il tema scientifico: attività antiossidante di sostanze naturali**

Molte sostanze naturali e molti composti di sintesi sono da tempo conosciuti per le loro ottime proprietà di antiossidanti. Un'intensa attività scientifica è tutt'ora attiva per la ricerca di nuove molecole ed il miglioramento di quelle esistenti al fine di ottenere efficaci integratori antiossidanti. In questo ambito è stato inserito il progetto MC<sup>4</sup>, finalizzato all'identificazione di molecole con un buon potenziale antiossidante, che viene identificato come capacità di ridurre specie reattive all'ossigeno (ROS) attraverso il trasferimento di un atomo di idrogeno. In particolare, l'attività svolta ha previsto (i) una parte didattica focalizzata sui concetti di stress ossidativo e molecole antiossidanti, sulle reazioni radicaliche e sulla loro termodinamica e (ii) una parte computazionale ovvero il calcolo di energie libere standard di reazione ( $\Delta G^\circ$ ) per una serie di trasferimenti di un atomo di idrogeno (HAT), uno dei processi più rilevanti per la neutralizzazione dei radicali liberi:



In dettaglio, nella fase laboratoriale, sono state assegnate due molecole a ciascun studente che le ha 1) disegnate con l'editor molecolare Avogadro 2) ha identificato tutti gli atomi di idrogeno potenzialmente reattivi

verso i ROS e ha preparato le strutture dei radicali che si generano a seguito della perdita di ciascun idrogeno singolarmente come descritto nell'equazione (1), 3) ha compilato i files di input e ha lanciato i calcoli sul supercomputer del CINECA e 4) ha raccolto i risultati (energie libere di reazione) in tabelle organizzate e li ha condivisi con i compagni di classe per una discussione finale insieme all'insegnante (Figura 1).

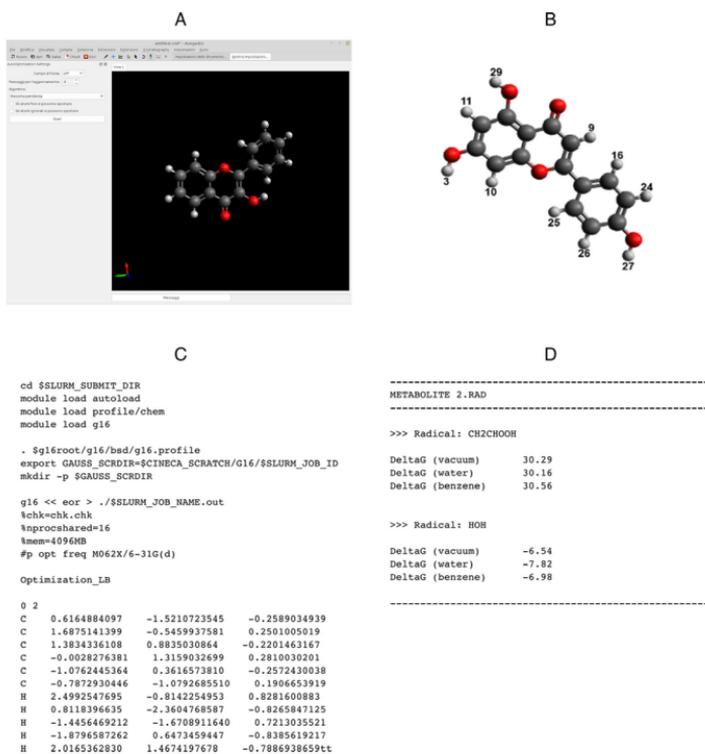


Figura 1 – A) Schermata dell'editor molecolare Avogadro; B) Struttura dell'apigenina (un potenziale antiossidante) con evidenziati gli atomi di idrogeno; C) Esempio di input per il calcolo delle energie libere; D) Output del calcolo con i valori di energia libera ( $\Delta G^\circ$ )

## Aspetti organizzativi e risultati

L'attività formativa è stata scandita in tre momenti. In classe i docenti hanno affrontato gli argomenti chimici utili per la comprensione del laboratorio, fornendo anche una visione aggiornata del tema scelto, in questo caso sullo stato dell'arte della ricerca in campo di molecole antiossidanti utilizzando quanto messo a disposizione dai tutor universitari. In laboratorio i tutor hanno fornito nozioni basilari di informatica (funzionamento dell'ambiente UNIX e rudimenti di programmazione bash) unite alla presentazione del funzionamento di calcolatori altamente parallelizzati (supercomputer, grazie anche alla collaborazione con il centro di calcolo CINECA), che hanno costituito le basi tecniche necessarie per lo svolgimento dell'attività.

Il protocollo risultante, definito secondo procedure standard validate in ambito accademico, ha portato a termine la formazione in laboratorio e ha permesso l'utilizzo dei risultati ottenuti nel progetto a supporto della ricerca scientifica

La realizzazione del progetto MC<sup>4</sup> è stata divisa in tre fasi: I) Formazione degli insegnanti coinvolti. II) Realizzazione dell'attività con gli studenti in laboratorio di informatica. III) Raccolta, analisi e presentazione dei risultati ottenuti. I) Il primo aspetto ha riguardato l'informazione e formazione sulla peculiarità della chimica computazionale, un settore relativamente giovane che sta rapidamente acquistando importanza sia in ambito di ricerca universitaria che industriale. II) I docenti hanno preparato una lezione in classe sugli aspetti chimici della tematica mentre un tutor universitario ha organizzato una sessione in aula di informatica all'inizio dell'attività laboratoriale. Con gli strumenti informatici messi a disposizione dal CINECA, gli studenti sono stati in grado di calcolare le energie libere di reazione per un buon numero di reazioni HAT (circa 20

reazioni per studente), lavorando sia scuola che a casa dal proprio pc. III) Infine, gli studenti hanno potuto determinare l'efficacia di una molecola come antiossidante basandosi sui valori dei  $\Delta G^\circ$  calcolati e sono stati in grado di classificare le molecole secondo la loro propensione ad agire come antiossidanti verso cinque diversi tipi di radicali e in due ambienti diversi (polare o apolare).

Alle varie classi sono state fornite le conoscenze di base per lo svolgimento dell'esperienza adattando le lezioni introduttive, di volta in volta, in modo da completare con le nozioni necessarie quelle già in possesso degli studenti. Data la differente dotazione dei vari istituti in termini di sistemi informatici e la ristretta offerta di software specializzati disponibili gratuitamente, l'individuazione di un set standard di strumenti è stata in alcuni casi difficoltosa.

Durante tutto lo svolgimento del progetto è stato mantenuto un fondamentale rapporto di collaborazione tra i docenti e l'Università, permettendo la definizione del tema e degli obiettivi del progetto in modo efficace. Inoltre, il coinvolgimento in prima linea dei docenti ha permesso un continuo scambio di feedback con i tutor universitari dopo ogni lezione in aula di informatica che ha portato a un costante miglioramento dell'esperienza per le classi successive. Infine, gli insegnanti si sono fatti portavoce dei risultati del progetto partecipando a convegni nazionali e condividendoli sui social media.

L'attività, svolta nel periodo tra Marzo e Settembre 2019, ha portato risultati di tipo sia prettamente scientifico (un database con i  $\Delta G^\circ$  per reazioni HAT per circa un centinaio di molecole) che didattico, in quanto gli studenti sono venuti a conoscenza dell'esistenza di un ambito meno conosciuto della ricerca chimica, fortemente interdisciplinare perché richiede competenze chimiche e informatiche.

## Conclusioni

Pur non proponendo un laboratorio chimico tradizionale, il progetto richiede una partecipazione attiva e creativa degli studenti e può essere proposto anche in quegli ambienti dove mancano i laboratori chimici o non dispongono di materiali adeguati. Inoltre, l'attività soddisfa l'esigenza di digitalizzazione della scuola in quanto vengono acquisite nuove conoscenze e capacità in ambito informatico al fine dell'apprendimento della chimica. Il tema proposto nella presente edizione, ovvero il potere antiossidante di alcune classi di sostanze naturali, è un argomento di attuale interesse scientifico che può essere collegato anche alla salute e alla nutrizione mettendo in luce il ruolo che la chimica ricopre nella vita di tutti i giorni. MC<sup>4</sup> è sicuramente riproponibile e adattabile anche ad argomenti chimici diversi. I feedback ricevuti sono stati fortemente positivi; tra questi:

E.L. Il progetto di sperimentazione virtuale MC<sup>4</sup> è stato un successo, interessante e significativamente coinvolgente per noi docenti e per gli studenti, e ci ha dato modo di acquisire delle competenze tecnologiche-scientifiche capitalizzate attraverso le conoscenze teoriche precedentemente acquisite in aula. Le competenze scientifiche sono il caposaldo di uno sviluppo professionale di qualità e all'avanguardia, e attraverso i progetti proposti in collaborazione con l'Università di Padova ho potuto soddisfare l'esigenza di rimanere costantemente aggiornato in un ambiente dinamico e in perenne evoluzione come la scuola.

L. G. Io insegno in un liceo scientifico e da anni partecipo a tutte le iniziative del PLS Chimica dell'Università di Padova. Tra i progetti, il più particolare e impegnativo è stato MC<sup>4</sup>. Inizialmente non volevo partecipare perché richiedeva l'utilizzo di mezzi informatici e programmi

particolari, cosa in cui io non mi sentivo preparata, e nemmeno i miei studenti lo erano, in quanto di un indirizzo tradizionale, perciò digiuni di informatica. Mi sono “buttata”, e i miei studenti mi hanno seguita con fiducia. L’esperienza è stata incredibile: i ragazzi si sono divertiti un mondo a disegnare molecole molto complesse al computer, e poi a studiarne il comportamento senza andare in laboratorio. Abbiamo avuto il grande aiuto di un giovane ricercatore che ci ha insegnato ad usare i programmi in modo semplice e chiaro. La visita al Centro CINECA di Casalecchio di Reno ha concluso l’esperienza alla grande. Gli studenti (e anch’io) hanno capito che esistono altri modi per fare chimica, soprattutto quando non si hanno a disposizione laboratori ben attrezzati e riforniti di reagenti come accade in un liceo, quando le reazioni da studiare sono molto complesse e richiedono tempi lunghi; e i risultati sono assicurati!

R. R. Ho partecipato al progetto MC<sup>4</sup> e ho coinvolto l’Istituto I.I.S. Pacinotti di Mestre, in particolare una classe 5<sup>a</sup> dell’indirizzo di chimica dei materiali. L’idea di utilizzare il computer per disegnare molecole di interesse biologico che poi sarebbero state studiate con i super calcolatori del CINECA ha coinvolto molto i ragazzi. Questo progetto ci ha permesso di sviluppare competenze trasversali. Abbiamo utilizzato le competenze digitali, matematico-fisiche unite a quelle di chimica organica per sviluppare nuove conoscenze. La visita ai supercalcolatori del CINECA è stata un utile approfondimento per comprendere pienamente lo sviluppo del progetto. È stato un lavoro stimolante che ha introdotto noi insegnanti e di seguito i nostri ragazzi verso un approccio metodologico innovativo nei confronti dello studio della chimica.

A. D.T. Insegno in un Istituto che prevede corsi ad indirizzo chimico (chimica dei materiali e biotecnologie ambientali) e ho deciso di seguire la formazione nell’am-

bito del progetto MC<sup>4</sup>. L'attività che ho appreso e poi ho realizzato in classe, si è rivelata essere un potente strumento per mostrare ai nostri studenti come le varie discipline affrontate nel loro corso di studi (chimica, biologia, matematica, informatica) si possano interconnettere e concorrere allo studio di sistemi complessi. Ciò può contribuire al raggiungimento di due importanti competenze: Competenza digitale - Imparare a imparare (fanno parte delle 8 competenze chiave europee). Inoltre, la collaborazione con gli altri insegnanti coinvolti nel progetto e il continuo confronto mi hanno stimolato e arricchito sul piano professionale e umano '.

Gli autori ringraziano il Dr. Marco Dalla Tiezza e la Dr.ssa Cecilia Muraro che hanno seguito le scuole coinvolte come tutor e ovviamente tutti i ragazzi coinvolti nel progetto.

## Bibliografia

- «PLS Homepage». <https://www.pianolaureescientifiche.it> (consultato apr. 19, 2022).
- «PLS Chimica UniPd». <https://www.pls.scienze.unipd.it/chimica/> (consultato apr. 19, 2022).
- «Avogadro: an open-source molecular builder and visualization tool.» [In linea]. Available at: <http://avogadro.cc>.
- M. D. Hanwell, D. E. Curtis, D. C. Lonie, T. Vandermeersch, E. Zurek, e G. R. Hutchison, «Avogadro: an advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform», *J. Cheminform.*, vol. 4, n. 1, pag. 17, 2012, doi: 10.1186/1758-2946-4-17.
- «RCSB Protein Data Bank». <https://www.rcsb.org> (consultato apr. 19, 2022).
- A. Galano, G. Mazzone, R. Alvarez-Diduk, T. Marino, J. R. Alvarez-Idaboy, e N. Russo, «Food Antioxidants: Chemical

Insights at the Molecular Level», *Annu. Rev. Food Sci. Technol.*, vol. 7, n. 1, pagg. 335–352, feb. 2016, doi: 10.1146/annurev-food-041715-033206.

- A. Galano e J. Raúl Alvarez-Idaboy, «Computational strategies for predicting free radical scavengers' protection against oxidative stress: Where are we and what might follow?», *Int. J. Quantum Chem.*, vol. 119, n. 2, pag. e25665, gen. 2019, doi: 10.1002/qua.25665.
- M. Bortoli *et al.*, «Psychiatric Disorders and Oxidative Injury: Antioxidant Effects of Zolpidem Therapy disclosed In Silico», *Comput. Struct. Biotechnol. J.*, vol. 17, pagg. 311–318, 2019, doi: 10.1016/j.csbj.2019.02.004.
- C. Muraro, M. Dalla Tiezza, C. Pavan, G. Ribaldo, G. Zagotto, e L. Orian, «Major Depressive Disorder and Oxidative Stress: In Silico Investigation of Fluoxetine Activity against ROS», *Appl. Sci.*, vol. 9, n. 17, pag. 3631, set. 2019, doi: 10.3390/app9173631.
- C. Job&Orienta, *Rafforzamento della formazione ICT nell'ambito dei percorsi per le competenze trasversali e per l'orientamento*. Fiera di Verona, 2021.

## 6. Oceani e clima

*Elisa Corteggiani Carpinelli<sup>a</sup>, Paolo Laveder<sup>b</sup>*

<sup>a</sup>Liceo Scientifico E. Fermi di Padova. <sup>b</sup>Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Padova

**Abstract.** Il percorso didattico che presentiamo si compone di quattro esperienze nelle quali si utilizzano conoscenze e competenze di chimica di diverso livello per studiare fenomeni naturali interessanti e rilevanti per l'educazione alla cittadinanza. Nelle varie esperienze le reazioni chimiche, l'acidità, il pH e gli equilibri chimici sono messi al servizio dello studio della ripartizione dell'anidride carbonica tra atmosfera e oceani in diverse condizioni, dei meccanismi di feedback climatico che coinvolgono gas serra e oceani, degli effetti dell'aumento della disponibilità di anidride carbonica sulla chimica degli oceani e sui viventi che li abitano. Le esperienze che presentiamo sono molto intuitive, possono essere usate in contesti didattici diversi e consentono di lavorare anche sul concetto di modello sperimentale.

## **Un percorso a tappe, ma anche quattro esperimenti indipendenti**

Gli esperimenti proposti formano un percorso didattico su: distribuzione della  $\text{CO}_2$  tra oceani e atmosfera al variare della temperatura e meccanismi di feedback climatico che ne conseguono; acidificazione degli oceani causata dall'aumento della pressione parziale di  $\text{CO}_2$ ; effetti sui viventi con esoscheletro e sui produttori primari all'aumentare della  $\text{CO}_2$  disciolta e all'abbassamento del pH negli ambienti oceanici.

Ciascuno di questi esperimenti è autoconclusivo, si può scegliere di proporre agli studenti l'intero percorso o solo una o più esperienze.

### **Prerequisiti e impostazione didattica**

*Percorso didattico:* i quattro esperimenti possono essere proposti a studenti con un diverso livello di competenze di base in chimica, adattando gli obiettivi e le richieste di rielaborazione dei risultati ottenuti. Le competenze di chimica acquisite durante il percorso scolastico saranno messe al servizio dello studio di fenomeni complessi relativi alla chimica degli oceani e ai feedback climatici.

*Impostazione didattica:* gli studenti dovrebbero fare esperienza diretta dei fenomeni utilizzando i modelli sperimentali di laboratorio, analizzando poi in classe i risultati qualitativi e quantitativi ottenuti. La discussione finale allarga la prospettiva verso i modelli interpretativi relativi al clima e agli oceani.

*Metodologia:* ogni esperienza è composta di a) descrizione; b) procedura sperimentale; c) materiale didattico utile per discutere i modelli interpretativi dei fenomeni sul nostro Pianeta; d) guida per aiutare l'insegnante ad alle-

stire con successo gli esperimenti e a risolvere i problemi più comuni.

### **Effetto dei gas atmosferici sul pH degli oceani**

L'esperimento genera, attraverso reazioni chimiche, alcuni gas presenti in atmosfera: ossigeno, azoto, anidride carbonica e idrogeno. Un gassificatore artigianale permette di far gorgogliare i gas in una soluzione di acqua o di acqua oceanica per verificare, tramite un indicatore universale di pH, il possibile effetto di acidificazione dovuto a ciascun gas, sapendo che c'è un equilibrio fra i gas presenti in atmosfera e quelli disciolti negli oceani. L'esito e il senso dell'esperimento non cambiano se si usa acqua distillata, acqua di rubinetto o acqua marina. Se si decide di preparare per l'esperienza una soluzione di acqua oceanica è possibile utilizzare uno dei tanti preparati liofilizzati acquistabili dalle ditte che distribuiscono prodotti per laboratorio o per acquari. L'acqua marina o oceanica ha una concentrazione salina complessiva che varia tra 3,1% e 3,8% m/V, la composizione % in m/m della frazione salina è circa 55%  $\text{Cl}^-$ , 30,6%  $\text{Na}^+$ , 7,7%  $\text{SO}_4^{2-}$ , 3,7%  $\text{Mg}^{2+}$ , 1,2%  $\text{Ca}^{2+}$ , 1,1%  $\text{K}^+$ , 0,7% altre sostanze in tracce, il pH oceanico è compreso tra 7,5 e 8,4.

La scelta dei 4 gas da far gorgogliare nell'acqua e testare è prevalentemente didattica: l'azoto e l'ossigeno sono i due gas più abbondanti nella bassa atmosfera, che è in equilibrio con gli oceani; l'anidride carbonica è notoriamente un importante gas serra presente nell'atmosfera in piccole quantità ma in continuo aumento; l'idrogeno pur essendo presente in atmosfera in piccolissime quantità, è interessante per gli studenti per ragionare sul fatto che  $\text{H}_2$  in contatto con l'acqua non porta all'aumento della concentrazione degli ioni  $\text{H}^+$  o  $\text{H}_3\text{O}^+$  disciolti.

Figura 1 – Schema del gassificatore e del sistema sperimentale



Il bicchiere contiene una soluzione di acqua o di acqua oceanica; il gassificatore è assemblato in modo tale che il reagente solido sia contenuto nel tubo, mentre quello liquido viene iniettato attraverso la siringa in una delle due aperture; la seconda apertura è quella che fa fuoriuscire il gas. Gli apparati sono descritti nella sezione “Indicazioni per l’insegnante”

Le reazioni descritte di seguito consentono di preparare in provetta ciascuno di questi quattro gas e di farli gorgogliare in una soluzione di acqua oceanica e indicatore di pH.

1.  $2\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) \xrightarrow{\text{KI}} \text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
2.  $\text{NaNO}_2(\text{aq}) + \text{HSO}_3\text{NH}_2(\text{s}) \rightarrow \text{N}_2(\text{g}) + \text{NaHSO}_4(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
3.  $\text{NaHCO}_3(\text{s}) + \text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{NaCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{CO}_2(\text{g})$
4.  $\text{Mg}(\text{s}) + 2\text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{MgCl}_2(\text{aq})$

Tabella 1 – Reagenti

Reagente solido (tubo di reazione)	Reagente liquido (siringa)	Gas prodotto
1.0 g KI	20ml di soluzione $\text{H}_2\text{O}_2$ 3%	ossigeno

1 g $\text{HSO}_3\text{NH}_2$	10 ml $\text{NaNO}_2$ 0,1 M	azoto
5 g $\text{NaHCO}_3$	20 ml di soluzione HCl 3,5%	anidride carbonica
2 cm Mg nastro	20 ml di soluzione HCl 3,5%	idrogeno

Tabella 2 – Risorse

<b>Attrezzatura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• spatole per prelevare i reagenti in polvere.</li> <li>• vetreria utile a misurare i volumi delle sostanze liquide.</li> <li>• vetreria, tappi in gomma e tubi per costruire i piccoli gassificatori come indicato nelle istruzioni della prossima sezione.</li> <li>• 4 siringhe da 20 mL o più (1 per ogni reagente liquido).</li> </ul>
<b>Materiali consumabili</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• indicatore di pH utile nell'intervallo da acido a neutro (ad es. indicatore universale, blu di bromo timolo, rosso cresolo).</li> <li>• acqua deionizzata.</li> <li>• reagenti solidi: nastro di magnesio; KI; <math>\text{HSO}_3\text{NH}_2</math>; <math>\text{NaHCO}_3</math>.</li> <li>• reagenti liquidi sotto cappa: <math>\text{H}_2\text{O}_2</math> 3% ; <math>\text{NaNO}_2</math> 0,1 M; HCl 3,5%.</li> </ul>
<b>Attrezzatura utile non necessaria</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• preparato liofilizzato per produrre acqua oceanica (in alternativa si può usare acqua).</li> <li>• bilancia e navicelle per pesare i reagenti in polvere (altrimenti possono essere quantificati in modo approssimativo usando delle spatole come dosatori).</li> <li>• un dispositivo per documentare con foto o video.</li> </ul>

### Procedura sperimentale

- Sciogli il preparato liofilizzato per oceano in acqua distillata alla concentrazione di 35 g/L (a seconda delle indicazioni fornite dall'esercitatore pesa i sali oppure quantificali con il misurino fornito).
- Contrassegna 4 becher ciascuno con il nome del gas che ci farai gorgogliare dentro ( $O_2$ ;  $N_2$ ;  $CO_2$ ;  $H_2$ ) e contrassegna un quinto becher come controllo.
- In ciascun becher versa 50 mL di acqua di oceano e 2 gocce di indicatore di pH.
- Annota con un pennarello su ciascun tubo di reazione il nome del reagente solido che conterrà.
- Preleva e trasferisci nel tubo di reazione ciascuno dei reagenti solidi seguendo le indicazioni della Tabella 1 (a seconda delle indicazioni fornite dall'esercitatore pesa i reagenti oppure quantificali con il misurino fornito).
- Spostati sotto la cappa chimica per prelevare i reagenti liquidi ed eseguire l'esperimento.
- Preleva con la siringa il reagente liquido necessario per la prima reazione.
- Assembla il gassificatore per la prima reazione, come illustrato in Figura 1.
- Metti l'estremità del tubo dentro al bicchierino contenente acqua oceanica e indicatore e conduci la reazione spingendo lo stantuffo della siringa molto lentamente, in modo tale che il reagente liquido cada goccia a goccia sul reagente solido contenuto nella provetta (se la reazione procede troppo velocemente il gas prodotto non sarà l'unica cosa a risalire attraverso il tubo e a gorgogliare nella soluzione e si produrrà un risultato che non rispecchia esclusivamente il contributo del gas che desideri testare).

- Osserva cosa succede nel becher e annota i risultati
- Procedi con la reazione successiva.
- Al termine fai una foto al risultato e stima il pH delle soluzioni contenute in ciascuno dei 5 bicchierini in base al colore dell'indicatore (il controllo, dove non è stato fatto gorgogliare niente + i 4 bicchierini dove sono stati fatti gorgogliare 4 diversi gas).

Figura 2 – Procedura ed esito atteso dell'esperimento



soluzioni di acqua o di acqua oceanica con indicatore di pH dopo che sono stati fatti gorgogliare i gas

Nella figura le soluzioni di acqua oceanica sono rappresentate con i colori che assume l'indicatore dopo che sono stati fatti gorgogliare i gas.

Tabella 3 – Scheda dell'esperimento

<b>Tempi di realizzazione</b>	20-30 minuti per allestire e completare l'esperimento
<b>Tipologia di risultati</b>	questo esperimento consente di fare <u>osservazioni qualitative</u> , non si ottengono misure quantitative dei fenomeni osservati

Indicazioni di pericolo	sostanza	frasi e consigli	pittogrammi
	KI	frasi H 312 - 317 - 391; consigli P 263 - 304 - 305+351+368 - 342+311 - 405+501	
	NaNO <sub>2</sub>	frasi H 272 - 301 - 400; consigli P 273 - 309+310	  
	HSO <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	frasi H 319 - 315 - 412 consigli P 273 - 305+351+338 - 302+352	
	HCl	frasi H 280 - 314 - 331; consigli P 261 - 280 - 305+351+338 - 310 - 410+403	 
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	frasi H 271 - 302 - 314 - 332 - 335; consigli P 220 - 261 - 280 - 305+351+338 - 310	  
<b>Dispositivi di protezione</b>	camice con elastico ai polsi guanti per la manipolazione dei reagenti i reagenti liquidi devono essere prelevati sotto cappa chimica con l'aspirazione accesa mantenendo il vetro abbassato fino all'altezza del viso		

	<p>l'esperienza deve essere condotta sotto la cappa aspirante accesa con il vetro abbassato fino all'altezza del viso può essere consigliabile l'uso di occhiali protettivo, ma la cappa chimica utilizzata in modo corretto dovrebbe offrire una protezione già adeguata.</p>
<b>Smaltimento degli scarti</b>	<p>Le soluzioni acquose in cui hanno gorgogliato i gas non sono tossiche né dannose per l'ambiente; pertanto, vanno <u>smaltite considerando solo le prescrizioni relative all'indicatore di pH</u> che si è scelto di utilizzare, tenendo conto anche del fatto che l'indicatore è presente in piccole quantità ed è considerevolmente diluito.</p> <p>Per quanto riguarda quello che resta delle reazioni all'interno dei gassificatori, è necessario smaltire come rifiuti chimici liquidi.</p>

### Dal modello di laboratorio allo studio del pianeta

Gli studenti osserveranno che la  $\text{CO}_2$  fa cambiare il pH della soluzione acquosa, mentre gli altri gas non hanno effetti sul pH.

Gli studenti con una preparazione di base in chimica discuteranno con l'insegnante i seguenti fenomeni:

- la quantità di gas disciolto nel liquido aumenta all'aumentare della pressione parziale di ciascun gas nell'atmosfera sovrastante, fino al limite di solubilità.
- la  $\text{CO}_2$  disciolta, che a T ambiente è al massimo 1,48 g/L, reagisce con l'acqua secondo la reazione all'equilibrio  $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ , che ha una  $K_{\text{eq}} = 1,3 \times 10^{-3}$  e che ha come prodotto un acido debole.

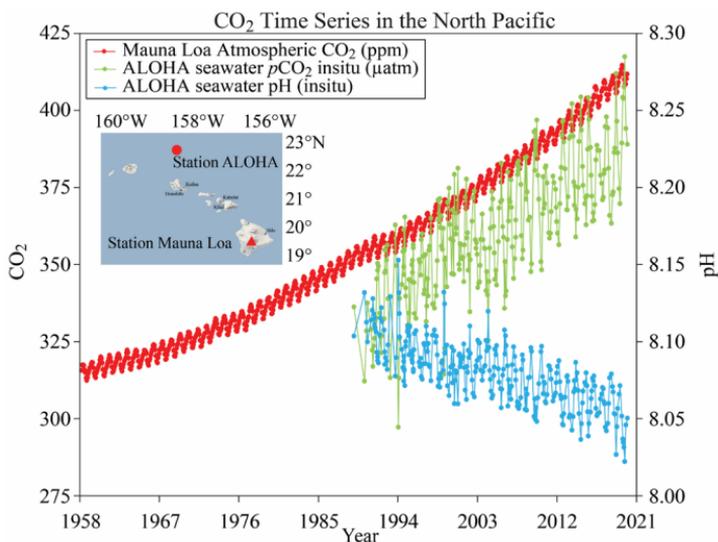
Tutti gli studenti rifletteranno con l'insegnante sul fatto che un aumento della quantità di  $\text{CO}_2$  nell'atmosfera determina un aumento della quantità di  $\text{CO}_2$  disciolta nell'acqua oceanica, con conseguente diminuzione del pH dell'acqua. Gli studenti con conoscenze di base di chimica potranno riflettere sul fatto che la costante di solubilità e

quella di reazione non cambiano, ma una maggiore disponibilità di reagenti aumenta anche la quantità di prodotti mantenendo costante il rapporto tra reagenti e prodotti.

A questo punto è interessante consultare insieme agli studenti dati affidabili sulla concentrazione media di  $\text{CO}_2$  misurata nell'atmosfera e negli oceani e sul pH misurato degli oceani in un intervallo di tempo recente. Si tratta anche di un'occasione preziosa per educare alla ricerca di dati affidabili, e per presentare agli studenti risorse informative che potranno essere utili punti di riferimento per la loro formazione permanente.

L'agenzia federale statunitense che si interessa di oceanografia, meteorologia e climatologia mette a disposizione del pubblico le misure effettuate e le analisi dei dati sempre aggiornate.

Figura 3 – Dati degli ultimi 60 anni relativi alla concentrazione di  $\text{CO}_2$  nell'atmosfera, nell'oceano e al pH dell'oceano



Il grafico e i dati necessari a costruirlo sono stati prodotti dagli scienziati dell'osservatorio di Mauna Loa e sono resi dispo-

nibili gratuitamente per scopi divulgativi e didattici attraverso il sito web <https://gml.noaa.gov/ccgg/> citato con i link specifici per ogni grafico nel testo e nelle referenze. La figura viene riprodotta nella nostra pubblicazione con il permesso degli autori e dell'ente per il quale lavorano.

I dati in Figura 3 indicano chiaramente un aumento continuo della  $\text{CO}_2$  atmosferica e la conseguente acidificazione del pH nell'acqua oceanica. Può essere utile una riflessione sulle oscillazioni stagionali dovute all'attività fotosintetica nell'emisfero più ricco di piante; inoltre, è molto educativo invitare gli studenti a stimare gli effetti attribuibili alle attività umane rispetto a quelli legati a fenomeni biogeochimici di altra natura, come le attività vulcaniche. Anche in questo caso è importante cercare misure affidabili dei dati.

### **Indicazioni per l'insegnante**

L'esecuzione di questo esperimento richiede la disponibilità di attrezzatura adatta per la costruzione dei gassificatori. I tubini di volume adatto, con chiusura ermetica e tubatura di ingresso e di uscita possono essere acquistati da Carolina biotech (link in bibliografia). È possibile costruire il sistema utilizzando tubi in plastica tipo falcon chiudendoli in modo ermetico con tappi in gomma nei quali saranno stati praticati due fori, uno per l'ingresso, compatibile con la siringa, e uno per il tubino di uscita del gas. È infine possibile utilizzare vetreria da laboratorio con chiusura ermetica in alto e una apertura laterale in alto per il tubino di uscita del gas.

In tutti i casi sarà necessario fare delle prove per adattare le quantità e i volumi dei reagenti e dei gas prodotti ai volumi dei contenitori utilizzati (poco gas prodotto in un contenitore grande non produce abbastanza gas da far

gorgogliare all'interno delle soluzioni di acqua oceanica)

È molto importante testare la cinetica di reazione e aggiustare le quantità dei reagenti solidi e le concentrazioni dei reagenti acquosi in modo tale che si abbia fuoriuscita del solo gas attraverso il tubino e che non ci sia in mezzo anche schiuma di reazione. Questa accortezza è particolarmente importante per la reazione tra l'amidriossosolfato di idrogeno e il biossonitrato di sodio, che oltre a produrre  $N_2$  produce anche idrogenosolfato di sodio, che è un acido ( $NaNO_2(aq) + HSO_3NH_2(s) \rightarrow N_2(g) + NaHSO_4(aq) + H_2O(l)$ ). Se i prodotti acidi o basici della reazione si mescolano con il gas di uscita alterano il risultato sperimentale. Se la reazione è molto veloce, l'esito dell'esperimento varia al variare della velocità con la quale lo sperimentatore opera, è pertanto importante operare in condizioni di cinetica ottimali perché l'esperimento dia risultati visibili, ma anche riproducibili nelle mani dei diversi studenti.

### **Solubilità della $CO_2$ in acqua al variare della temperatura**

In questo esperimento si osserva la  $CO_2$  che abbandona la soluzione acquosa all'aumentare della temperatura seguendo le bollicine e il pH della soluzione. L'esperienza serve a riflettere su cosa succede negli oceani quando cambia la temperatura: quando la temperatura media degli oceani è più bassa molta  $CO_2$  si scioglie nell'acqua oceanica e rimane sequestrata, mentre l'aumento della temperatura degli oceani provoca un rilascio dei gas nell'atmosfera, compresi quelli climalteranti.

Se si osserva con attenzione il comportamento delle bollicine di gas nei due campioni e la variazione di colore, si può facilmente intuire che la solubilità dei gas nel

liquido diminuisce al crescere della temperatura. È utile far ragionare gli studenti sulle esperienze di vita quotidiana in cui osservano questo, pensando a cosa succede alle bibite gassate tenute al caldo o al fresco.

È inoltre molto interessante proporre l'esperimento a studenti che abbiano già affrontato in chimica le proprietà delle soluzioni, la solubilità, la legge di Henry, gli equilibri e le reazioni acido base (idealmente quindi studenti di quarta liceo scientifico o tecnico), per ragionare con loro in modo più approfondito e anche quantitativo sul fenomeno.

Tabella 4 – Risorse

<b>Attrezzatura necessaria</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• una piastra riscaldante.</li> <li>• bicchieri resistenti alle alte temperature (ad es. becher in boro silicato da laboratorio).</li> </ul>
<b>Materiali consumabili</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• indicatore di pH utile nell'intervallo da acido a neutro (ad es. indicatore universale, blu di bromo timolo, rosso cresolo).</li> <li>• acqua con uguale composizione chimica in forma naturale e addizionata di <math>\text{CO}_2</math>.</li> </ul>
<b>Attrezzatura utile non necessaria</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• un cronometro o orologio</li> <li>• un dispositivo per documentare con foto o video.</li> </ul>

Tabella 5 – Scheda dell'esperimento

<b>Tempi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20-30 minuti per completare l'esperimento; l'esperimento si allestisce in pochi minuti e poi si osserva e si documenta il risultato.</li> </ul>
<b>Tipologia di risultati</b>	questo esperimento consente di fare osservazioni qualitative, non si ottengono misure quantitative dei fenomeni osservati.

<b>Dispositivi di protezione</b>	manopole per l'isolamento termico per evitare ustioni se si toccano inavvertitamente i becher con le soluzioni calde o la piastra riscaldante calda.
<b>Smaltimento degli scarti</b>	la soluzione acquosa non è tossica né dannosa per l'ambiente, pertanto va smaltita considerando solo le prescrizioni relative all'indicatore di pH che si è scelto di utilizzare, tenendo conto anche del fatto che l'indicatore è presente in piccole quantità ed è considerevolmente diluito.

### **Procedura sperimentale e risultati attesi**

- Trasferisci in un becher pulito 25 mL di acqua minerale naturale e aggiungi 2 gocce di indicatore. Puoi misurare il volume approssimativo usando le tacchette del becher.
- Trasferisci in un secondo becher pulito lo stesso volume di acqua minerale addizionata di CO<sub>2</sub> e aggiungi 2 gocce di indicatore.
- Osserva e annota il colore delle due soluzioni.
- Metti i due campioni sopra ad una piastra riscaldante accesa. La temperatura può essere fissata intorno ai 100°C.
- Osserva l'esperimento fino a quando le due soluzioni non abbiano raggiunto il bollore e abbiano bollito per circa 1 minuto.
- Annota le tue osservazioni ad intervalli di tempo regolari con l'aiuto di un cronometro.
- Puoi filmare l'evento in time lapse con un dispositivo mobile.

Figura 4 – Procedura ed esito atteso dell'esperimento



## Dal modello di laboratorio allo studio del pianeta

Gli studenti con scarse conoscenze di chimica avranno ora chiaro che più si scalda l'acqua oceanica più i gas e l'anidride carbonica in particolare abbandonano la soluzione.

Gli studenti con una preparazione di chimica di base potranno riflettere insieme all'insegnante su questa sequenza di eventi concatenati:

$\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$  la solubilità è 1,688 g/L a 293,15 K e 1.48 g/L a 298,15 K

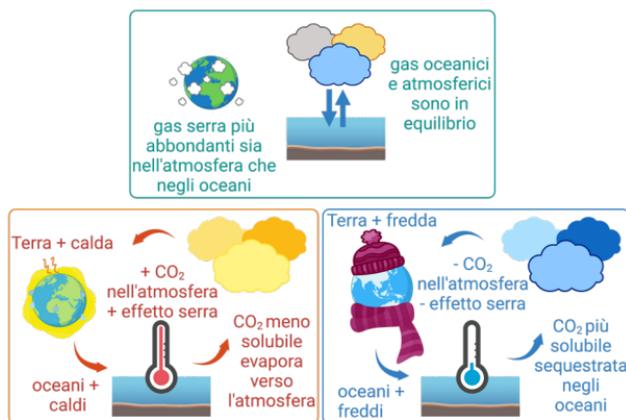
$\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$   $K_{\text{eq}} = 3,8 \cdot 10^{-3} \rightleftharpoons$

$\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$   $K_{\text{a1}} = 4,45 \cdot 10^{-7}$

Potranno calcolare il pH dell'acqua pura per una quantità di CO<sub>2</sub> gassosa data e risalire alla concentrazione di CO<sub>2</sub> disciolta basandosi sul pH.

Con tutti gli studenti è utile a questo punto riflettere sulla distribuzione dei gas in equilibrio fra atmosfera e oceano e sul meccanismo di feedback climatico che si innesca quando cambia la temperatura media degli oceani.

Figura 5 – Rappresentazione grafica dei feedback climatici del sistema oceano-atmosfera-CO<sub>2</sub>

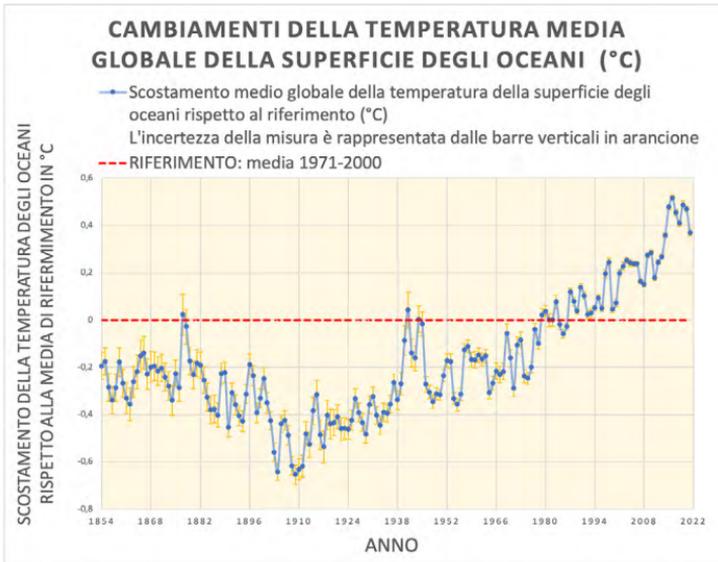


È utile poi consultare insieme agli studenti dati affidabili sulla temperatura media misurata degli oceani e sulla sua variazione in un intervallo di tempo recente per riflettere sul quale possa essere oggi il contributo degli oceani al cambiamento climatico. Anche in questo caso l'occasione è preziosa per educare alla ricerca di dati affidabili e alla valutazione critica del valore di una stima in ragione dell'errore di misura.

Leggendo i grafici delle serie temporali di misurazioni, come quello riportato in Figura 6, è importante che gli studenti acquistino la capacità di capire la tendenza del grafico, nonostante le fluttuazioni dei dati. Per stimolare questa competenza si può per esempio far calcolare il valore medio in differenti intervalli temporali.

Il grafico è stato realizzato dagli autori utilizzando i dati prodotti e resi pubblici da NOAA (le referenze alle specifiche pubblicazioni sono in bibliografia) e mostra la variazione di temperatura rispetto al periodo 1971-2000 preso come riferimento. Cambiando periodo di riferimento si ottiene comunque un grafico in continuo aumento a partire dalla metà del 1900.

Figura 6 – Variazione della temperatura media annua della superficie oceanica



### Indicazioni per l'insegnante per allestire con successo l'esperimento

È utile accendere la piastra riscaldante con un po' di anticipo per ridurre i tempi. È inoltre utile portare l'attenzione dei ragazzi sul movimento delle bollicine nei campioni di acqua frizzante quando la temperatura della soluzione acquosa è ancora molto inferiore alla temperatura di ebollizione.

### Effetto della concentrazione di CO<sub>2</sub> e di carbonato sugli esoscheletri

In questo esperimento si osserva l'effetto della concentrazione di CO<sub>2</sub> e del pH sulla precipitazione e sulla solubilizzazione del carbonato di calcio in ambiente acquoso. Il modello sperimentale può essere usato per riflettere su

vari fenomeni, in questo specifico caso viene utilizzato per ragionare sugli scheletri carbonatici dei viventi che si trovano in ambienti oceanici con caratteristiche più o meno favorevoli al deposito o allo scioglimento.

Tabella 6 – Risorse

<b>Attrezzatura necessaria</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• una bilancia tecnica precisa</li> <li>• contenitori che possano essere chiusi bene (ad es. tubi con tappo a vite o barattoli)</li> <li>• strumentazione per misurare volumi in modo preciso (ad es. cilindri graduati)</li> </ul>
<b>Materiali consumabili</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• frammenti di rocce carbonatiche o di materiale corallino di dimensioni omogenee</li> <li>• acqua con uguale composizione chimica in forma naturale e addizionata di <math>CO_2</math></li> </ul>
<b>Attrezzatura utile non necessaria</b>	una stufa per seccare i campioni più velocemente

Tabella 7 – Scheda dell'esperimento

<b>Tempi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 giorni almeno per completare l'esperimento.</li> <li>• l'esperimento si allestisce in pochi minuti.</li> <li>• dopo una settimana (o più) si interviene brevemente sull'esperimento rimuovendo la soluzione acquosa e mettendo a seccare i frammenti di roccia.</li> <li>• dopo 2 o 3 giorni i campioni sono secchi e, dal quel momento in avanti, si può procedere misurando i risultati ottenuto.</li> </ul>
<b>Tipologia di risultati</b>	questo esperimento consente di fare misure quantitative dei fenomeni osservati.

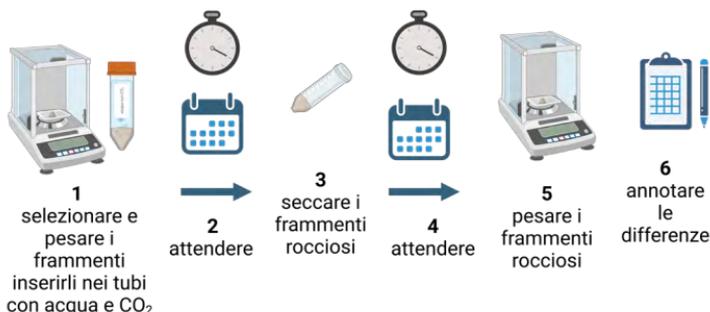
### Procedura sperimentale

- Prepara 5 soluzioni acquose misurando i volumi con i cilindri graduati:

- no CO<sub>2</sub> (acqua naturale);
- CO<sub>2</sub> bassa concentrazione (10 acqua frizzante - 90% acqua naturale);
- CO<sub>2</sub> media concentrazione (50 acqua frizzante - 50% acqua naturale);
- CO<sub>2</sub> alta concentrazione (75 acqua frizzante - 25% acqua naturale);
- eccesso di CO<sub>2</sub> (acqua frizzante)
- Prendi 5 contenitori di capienza ~50 mL, di forma qualsiasi e con tappo ermetico e col pennarello annota l'esperimento che ciascuno conterrà: no CO<sub>2</sub>; CO<sub>2</sub> bassa concentrazione; CO<sub>2</sub> media concentrazione; CO<sub>2</sub> alta concentrazione; eccesso di CO<sub>2</sub>
- Distribuisci in ciascun contenitore una medesima quantità di frammenti di sabbia corallina di analoghe dimensioni (indicativamente 10-20 frammenti).
- Pesa il contenuto di ciascuno e annota il peso che hai ottenuto.
- Metti all'interno di ciascun contenitore i frammenti pesati e 50 mL della corrispondente soluzione acquosa.
- Chiudi bene i contenitori con il tappo e lasciali incubare per 1-2 settimane.
- Dopo 2 settimane (o una) prendi i contenitori, elimina la soluzione acquosa facendo attenzione a non buttare via anche i frammenti di sabbia corallina. Risciacqua più volte i frammenti di sabbia corallina con acqua deionizzata. Elimina l'acqua per sversamento e quindi mettili ad asciugare (all'aperto o in stufa) per eliminare l'acqua residua.
- Quando i frammenti saranno secchi pesali e annota il risultato ottenuto in una tabella.
- Confronta il peso iniziale e il peso finale dei campioni di sabbia corallina in ciascun esperimento.

- Costruisci un grafico delle differenze di peso (finale - iniziale) in relazione alla concentrazione di  $\text{CO}_2$ .

Figura 7 – Procedura dell'esperimento



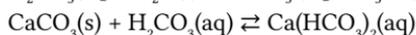
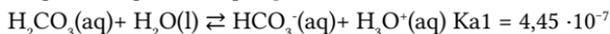
**1** selezionare frammenti di rocce carbonatiche di dimensioni simili, pesare i frammenti, allestire l'esperimento mettendo in ciascun tubo i frammenti rocciosi pesati e l'acqua a diversa concentrazione di  $\text{CO}_2$ ; **2** attendere almeno una settimana (l'esperimento può essere condotto anche per mesi); **3** rimuovere la soluzione acquosa e far seccare i frammenti rocciosi all'aria o in stufa; **4** attendere 1 o 2 giorni che i campioni siano secchi; **5** pesare i frammenti rocciosi essiccati; **6** annotare in una tabella il peso iniziale, quello finale e la differenza di peso per ciascun campione a diversa concentrazione di  $\text{CO}_2$ .

### Dal modello di laboratorio allo studio del pianeta

Se l'esperimento riesce, gli studenti scoprono che gli ambienti acidi e ricchi di  $\text{CO}_2$  favoriscono la solubilizzazione del carbonato di calcio e ne impediscono la precipitazione.

Gli studenti con una preparazione di chimica di base potranno riflettere insieme all'insegnante su questa sequenza di eventi concatenati:

$\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$  la solubilità è 1,688 g/L a 293,15 K e 1.48 g/L a 298,15 K



e ragionare sulle condizioni che possono favorire la sintesi di  $\text{CaCO}_3(\text{s})$  o la sua solubilizzazione a  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2(\text{aq})$  in base agli equilibri di reazione coinvolti e ai parametri che possono alterare le varie costanti di equilibrio.

Con tutti gli studenti è utile consultare misure affidabili del pH degli oceani e fonti divulgative affidabili che raccontino gli studi più recenti sull'effetto dell'acidificazione dell'oceano su vari viventi con esoscheletro e in particolare sulle barriere coralline.

### **Indicazioni per l'insegnante per allestire con successo l'esperimento**

L'esperimento è riproducibile, ma la differenza di massa che si misura è molto piccola e la differenza è chiara solo per campioni tenuti in acqua frizzante per almeno una settimana. Per accertare se le differenze misurate siano dovute alle variabili sperimentali o a errori casuali è importante che gli studenti confrontino tra loro i risultati ottenuti dai vari gruppi e calcolino e valori medi e gli errori casuali.

Se tutti i campioni risultano avere massa maggiore alla fine dell'esperimento, l'errore sistematico è dovuto ad una essiccazione non completa dei campioni. Il passaggio di essiccazione è importante per l'esito dell'esperimento.

## Efficienza fotosintetica al variare della concentrazione di CO<sub>2</sub> e del pH

In questo esperimento si osserva l'effetto della concentrazione di CO<sub>2</sub> e del pH sull'efficienza fotosintetica di una pianta acquatica e l'idea è quella di indagare gli effetti dell'acidificazione degli oceani sulla produzione primaria e sulla sopravvivenza e abbondanza delle alghe verdi e delle piante negli oceani.

Tabella 8 – Risorse

<b>Attrezzatura necessaria</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• un lampada con intensità luminosa pari almeno a quella di una lampadina da 60 watt.</li> <li>• contenitori trasparenti stretti e lunghi (poco volume alta superficie illuminata) che possano essere chiusi.</li> <li>• strumentazione per misurare volumi in modo preciso (ad es. cilindri graduati).</li> <li>• bilancia tecnica precisa.</li> </ul>
<b>Materiali consumabili</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• indicatore universale di pH.</li> <li>• (o in alternativa cartine per la misura del pH utili in un ampio intervallo di pH (4-11).</li> <li>• acqua con uguale composizione chimica in forma naturale e addizionata di CO<sub>2</sub>.</li> </ul>
<b>Attrezzatura utile non necessaria</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• un dispositivo per documentare con foto o video.</li> <li>• un dispositivo per misurare l'intensità luminosa in un punto dello spazio.</li> <li>• un pHmetro.</li> </ul>

Tabella 9 – Scheda dell'esperimento

<b>Tempi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 giorni per completare l'esperimento</li> <li>• l'esperimento si allestisce in 30 minuti circa e poi si osserva e si documenta il risultato dopo due giorni di illuminazione</li> </ul>
--------------	---

<b>Tipologia di risultati</b>	questo esperimento consente di fare sia osservazioni qualitative, che misure quantitative dei fenomeni osservati.
<b>Smaltimento degli scarti</b>	<p>La soluzione acquosa non è tossica né dannosa per l'ambiente, pertanto va smaltita considerando solo le prescrizioni relative all'indicatore di pH che si è scelto di utilizzare, tenendo conto anche del fatto che l'indicatore è presente in piccole quantità ed è considerevolmente diluito.</p> <p>Le piante acquatiche saranno ancora vitali dopo l'esperimento e possono essere conservate e riutilizzate in laboratorio, se devono essere smaltite, è necessario fare attenzione alle specie infestanti e aliene prima di disperderle nell'ambiente.</p>

### **Procedura sperimentale e risultati attesi**

- Prepara 5 soluzioni acquose misurando i volumi con i cilindri graduati:
  - no CO<sub>2</sub> (acqua naturale)
  - CO<sub>2</sub> bassa concentrazione (10 acqua frizzante - 90% acqua naturale).
  - CO<sub>2</sub> media concentrazione (50 acqua frizzante - 50% acqua naturale).
  - CO<sub>2</sub> alta concentrazione (75 acqua frizzante - 25% acqua naturale).
  - eccesso di CO<sub>2</sub> (acqua frizzante).
- Prendi 5 tubi di vetro trasparente con tappo ermetico e col pennarello annota l'esperimento che ciascuna conterrà: no CO<sub>2</sub>; CO<sub>2</sub> bassa concentrazione; CO<sub>2</sub> media concentrazione; CO<sub>2</sub> alta concentrazione; eccesso di CO<sub>2</sub>.

Distribuisce in ciascun tubo una medesima quantità di una stessa pianta acquatica a tua disposizione (ad esempio elodea o lenticchia d'acqua) - per mettere la stessa quantità di tessuto fotosintetico in ciascun tubo scegli tessuti verdi e metti una stessa massa di tessuto verde pesando con la bilancia a disposizione.

Aggiungi a ciascun tubo la corrispondente soluzione acquosa in quantità tale da riempirlo.

Prepara 5 tubi di controllo che contengano ognuno una delle soluzioni acquose ma niente piante.

Chiudi bene i tubi con il tappo.

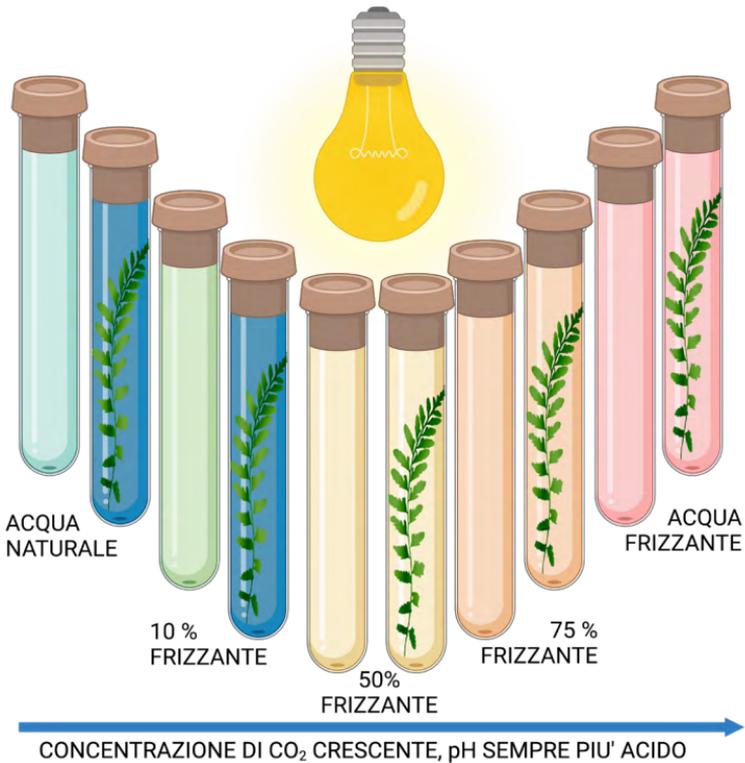
Metti tutti i tubi di fronte alla sorgente luminosa (una lampada accesa in modo continuativo 24h/24h) in modo tale che ricevano tutte la stessa quantità di luce (puoi misurare l'intensità luminosa col sensore del tuo cellulare all'interno della app "Science Journal" di Google e registrare la misura).

Aspetta 2 giorni.

Se hai a disposizione un pHmetro, misura con il pHmetro il pH dell'acqua di controllo e quello dell'acqua contenente anche le piante per ciascun esperimento.

- Annota le misure che hai ottenuto e mettile in tabella insieme alla differenza di pH tra l'esperimento con la pianta e quello di controllo (stessa acqua ma senza pianta). La differenza costituisce una stima dell'attività fotosintetica).
- Costruisci un grafico delle differenze di pH (con pianta - senza pianta) in relazione alla concentrazione di  $\text{CO}_2$ .
- Metti una goccia di indicatore in ciascuno degli 8 tubi e fotografa il risultato. Se non hai a disposizione un pHmetro, utilizza la scala di colori dell'indicatore universale per stimare il pH di ciascun campione e valuta l'efficienza fotosintetica basandoti sulla differenza di pH tra l'esperimento con la pianta e quello di controllo (stessa acqua ma senza pianta).

Figura 8 – Procedura ed esito atteso dell'esperimento



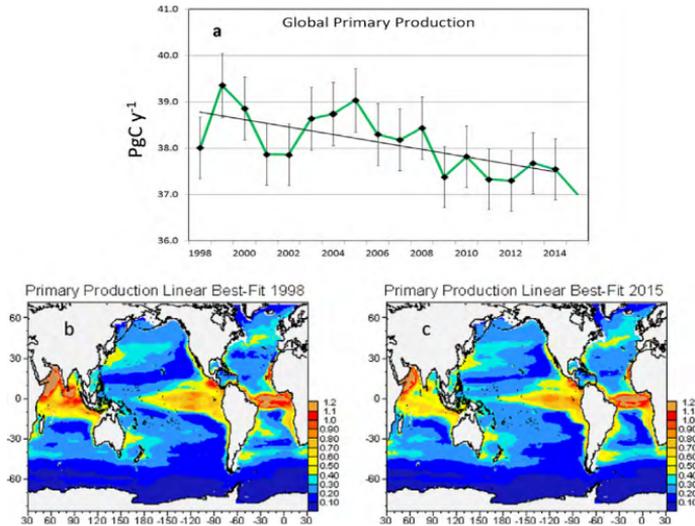
### Dal modello di laboratorio allo studio del pianeta

Osservando i risultati sperimentali, gli studenti avranno chiaro che il pH della soluzione si alza solo in presenza di piante e luce e che l'innalzamento del pH è maggiore nei campioni con pH di partenza vicino a 7 e con concentrazioni di CO<sub>2</sub> basse. Sarà quindi evidente che l'attività fotosintetica è maggiore in ambienti neutri e che l'aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub> non favorisce il processo.

Gli studenti con conoscenze di base del metabolismo fotosintetico e del pH (e quindi gli studenti di 3-4-5 liceo scientifico o tecnico) potranno ragionare insieme all'insegnante sul fatto che la fotosintesi assorbe la  $\text{CO}_2$  dal sistema e la riduce in carboidrati. Sequestrando la  $\text{CO}_2$  la fotosintesi fa innalzare il pH. Intuitivamente maggiore è la disponibilità di  $\text{CO}_2$  e più efficiente dovrebbe essere la fotosintesi, sorprendentemente però, nella nostra esperienza, non sembra essere così e ad alte concentrazioni di  $\text{CO}_2$ , quando il pH si abbassa, la fotosintesi si arresta. È possibile progettare con gli studenti esperimenti di controllo in presenza di basse concentrazioni di  $\text{CO}_2$  e in totale assenza del gas, oppure in presenza di quantità crescenti di  $\text{CO}_2$  mettendo però anche un tampone di pH nella soluzione. Si scoprirà così che non c'è fotosintesi in assenza di  $\text{CO}_2$  e che non è la concentrazione di  $\text{CO}_2$ , bensì l'abbassamento del pH a inibire il processo fotosintetico. L'esperimento descritto e gli esperimenti di controllo proposti funzionano bene in classe sia con le piante che con le alghe unicellulari, ma richiedono un lavoro di messa appunto da parte dell'insegnante.

Con tutti gli studenti è possibile consultare i dati sull'acidità degli oceani misurata negli ultimi 20-30 anni, facendo attenzione alla fonte e all'intervallo di confidenza delle misure e consultare poi studi affidabili sulla produzione primaria degli oceani stimata misurando la fluorescenza media della clorofilla con l'utilizzo di satelliti che misurano per 24 ore al giorno. In questo caso sarà necessario che l'insegnante faccia una ricerca e selezioni con attenzione le informazioni da proporre, sarà inoltre importante, come nei casi precedenti, che la classe faccia un lavoro guidato di lettura e analisi dei dati presentati.

Figura 9 – Dati sulla produzione primaria media degli oceani dal 1998 al 2015



La figura è stata originariamente pubblicata il 22 Novembre 2019 sull'articolo "Global ocean primary production trends in the modern ocean color satellite record (1998–2015)" da Watson W Gregg e Cecile S Rousseaux, sulla rivista Environmental Research Letters, Volume 14, Numero 12. La figura, originariamente rilasciata con una licenza CC BY, viene riprodotta su questa pubblicazione in accordo con la licenza e con l'editore.

### Indicazioni per l'insegnante per allestire con successo l'esperimento

Perché l'attività fotosintetica sia misurabile è importante fare attenzione a due parametri: l'intensità e il colore della sorgente luminosa, che deve essere corrispondente a 60 watt o più, non più distante di 5-10 cm dai campioni e deve essere bianca (oppure rossa o blu);

il secondo parametro è lo stato di salute della pianta acquatica, l'esperimento funziona bene con varie piante acquatiche, ma l'efficienza è maggiore se il tessuto fotosintetico è verde e in salute.

La procedura sperimentale indica di illuminare i campioni in modo continuo, una eventuale alternanza di luce e buio implicherebbe un abbassamento di pH nelle ore al buio rendendo più difficile la lettura e l'interpretazione del risultato comparativo dei vari campioni.

È possibile proseguire l'esperienza anche dopo aver messo l'indicatore di pH nei tubini, perché l'effetto di filtrazione della luce dei coloranti è trascurabile.

### **Le esperienze didattiche che hanno dato vita a questa serie di esperimenti**

L'esperienza didattica presentata in questo articolo è stata sviluppata inizialmente nel febbraio 2018 come prova interdisciplinare per gli studenti che partecipavano alle olimpiadi delle scienze applicate, che allora si chiamavano EUSO e ora hanno cambiato sigla in EOES. La proposta è stata elaborata sulla base dei materiali forniti con il kit commerciale "*Ocean acidification*", corredato di un adeguato manuale esplicativo.

Negli anni a seguire gli studenti di una quarta liceo scientifico indirizzo scienze applicate del Liceo Fermi hanno costruito gli apparati sperimentali, svolto gli esperimenti e analizzato i risultati all'interno di un progetto di PCTO di classe. Gli esperimenti erano inseriti in un progetto più ampio sulla conoscenza e la salvaguardia delle coste e dei mari che si chiama "Guardiani della Costa", che è promosso da Costa Crociere, ARPAL e scuola italiana di Robotica e che nel nostro Liceo ha coinvolto anche i ricercatori della stazione idrobiologica di Chioggia.

Gli studenti delle classi quarte del nostro liceo oggi fanno spesso queste esperienze utilizzando apparati e protocolli già messi a punto dai loro compagni e utilizzando le proprie conoscenze di chimica per elaborare i dati.

Nella nostra scuola è attivo dal 2019 un gruppo di studenti e docenti di scienze interessati a studiare sostenibilità e clima e a contribuire ad un futuro sostenibile per il nostro Pianeta, il “Fermi for future”. Nell’ambito di questo progetto, abbiamo proposto agli studenti le quattro esperienze sperimentali descritte in questo articolo nella versione senza l’analisi degli equilibri chimici e senza i calcoli del pH, hanno partecipato studenti di varie classi, con varia preparazione di chimica di base e gli studenti più esperti hanno fatto da educatori ai più giovani.

In seguito, alcuni studenti del “Fermi for future” hanno messo a punto una versione divulgativa e di facile allestimento di queste quattro esperienze da portare alla mostra “Sperimentando” perché fosse proposta ad un pubblico senza preparazione di base in chimica, che potesse fare esperienza diretta di fenomeni importanti per il clima grazie a sistemi esperienziali estremamente intuitivi. Gli studenti hanno lavorato durante la pandemia e hanno allestito con successo quattro postazioni sperimentali per la mostra, premiate con il secondo posto al concorso “Sperimenta anche tu 2021”.

Oggi queste esperienze, insieme ad altre ideate e realizzate dagli studenti di “Fermi for future” e “Sperimenta anche tu”, sono protagoniste di una giornata aperta, nella quale il nostro liceo si apre alla cittadinanza e gli studenti guidano i passanti che decidono di entrare alla scoperta di concetti importanti attraverso la sperimentazione.

L’esperienza che raccontiamo in questo articolo è anche una delle attività che danno vita al progetto “UNA COMUNITA’ SCIENTIFICA GIOVANE E INTERNAZIO-

NALE IN FORMAZIONE", nel quale studenti e docenti di varie nazionalità che partecipano a progetti di scambio con la nostra scuola si incontrano con attività laboratoriali di tipo scientifico, su temi di interesse comune, dal prendersi cura della salute delle persone e del Pianeta al prevenire e mitigare insieme gli effetti delle calamità naturali.

## Bibliografia

L'esperienza è stata elaborata sulla base della proposta di Carolina biological supply, venduta come kit e descritta al seguente link: <https://www.carolina.com/ap-environmental-science-lab-kits/carolina-investigations-for-ap-environmental-science-ocean-acidification-kit-8-station-with-prepaid-coupon/181069.pr>

Le immagini presenti in questo articolo sono state create usando BioRender.com (<https://app.biorender.com/>)

I dati riguardanti la concentrazione di CO<sub>2</sub> e il pH degli oceani sono prodotti e resi pubblici dal NOAA PMEL Carbon Program <https://www.pmel.noaa.gov/co2/story/Ocean+Acidification>

EOES - European Olympiad of Experimental Science <https://www.eoes.science/>

La figura che riporta il grafico della variazione di temperatura media della superficie degli oceani è stata prodotta dagli autori utilizzando i dati pubblicati in da Huang, B. et al nel 2017 "Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5), Upgrades, validations, and intercomparisons." *J. Climate*, 30, 8179-8205, doi:10.1175/JCLI-D-16-0836.1. I dati utilizzati per la stima degli errori riportata nel grafico sono stati pubblicati in Huang, B. et al 2020 "Uncertainty estimates for sea surface temperature and land surface air temperature in NOAA GlobalTemp version 5." *J. Climate*, 33, 1351-1379, DOI: 10.1175/JCLI-D-19-0395.1.

I dati e la figura sulla produzione primaria negli oceani utilizzati in questo articolo vengono dalla seguente pubblicazione: Gregg, W W and Rousseaux, C S (2019). Global ocean primary production trends in the modern ocean color satellite record (1998–2015). Environmental Research Letters, Volume 14, Number 12

“Guardiani della Costa” <https://guardianidellacosta.it/>

Sperimentando APS <https://sperimentandoaps.wordpress.com/>

La descrizione completa di questo esperimento con materiale didattico (protocollo, foglio risposte, consigli per il docente, presentazione per l’elaborazione in classe delle esperienze fatte in laboratorio) scaricabile e modificabile è disponibile sul sito [sperimentando.com](https://sperimentando.com/) di proprietà dell’autore Elisa Corteggiani Carpinelli all’URL <https://sperimentando.com/?p=1756>



## 7. Alginato nei sistemi di somministrazione dei farmaci

*Maristella Cestaro<sup>a</sup>, Gordon Kennedy*

<sup>a</sup>IIS Veronese-Marconi.

**Abstract.** Il progetto di seguito descritto nasce dall'esigenza di introdurre la metodologia CLIL nelle classi quinte degli istituti tecnici e, soprattutto, dall'idea di noi docenti di farlo dal punto di vista pratico, lavorando in laboratorio. Questo è stato possibile grazie all'ormai pluriennale collaborazione con un "real British chemist", Gordon Kennedy, con il quale condivido la passione per la didattica laboratoriale. In questo caso, si tratta di produrre e studiare capsule di alginato come possibile veicolo edibile per la somministrazione di farmaci per via orale, eventualmente, ricoperte da chitosano per favorire il graduale rilascio del principio attivo, che nel nostro caso è simulato da opportuni coloranti. Un approccio di questo tipo riesce a far "digerire" ai ragazzi l'inglese, dando anche un senso utile e concreto allo studio della chimica organica!

Prima di introdurre il lavoro, è opportuno definire gli obiettivi didattici che questa tipologia di progetti svolge nel mio Istituto. L'idea è nata durante uno dei convegni di "Insegnare chimica con passione!", confermandone, se necessario, l'importanza per noi docenti, quale momento di scambio e diffusione di modi nuovi di fare chimica a scuola. Era il 2016 e, fra tutti gli interessanti interventi, mi colpì quello della professoressa Laura Iannone: "A laboratory on enzymes and kinetics", fatto a quattro mani con il dott. Kennedy. In quell'occasione, per la prima volta, veniva presentata un'esperienza pratica di chimica svolta in inglese, applicando la metodologia CLIL, con la collaborazione di un docente esterno madrelingua ma chimico di formazione. È stata la scintilla che cade sulla paglia. Da anni, infatti, collaboravo con le colleghe di inglese per presentare agli alunni delle classi quarte e quinte alcuni moduli di chimica teorica in lingua straniera, ma fare laboratorio in inglese era un'altra storia. Va precisato che negli Istituti professionali e tecnici, come il mio, sin dal terzo anno si insegna "Microlingua", cioè la lingua straniera viene declinata secondo le materie professionalizzanti che caratterizzano l'indirizzo di studio, affrontando tematiche specifiche con gli appropriati termini tecnici, ma nessun docente aveva ancora applicato la metodologia CLIL alle esperienze fatte nei laboratori o nelle officine.

In quell'occasione, mi si presentò l'opportunità di chiedere ad un inglese doc, chimico di professione se fosse disposto a spingersi fin nella "bassa" per insegnare (laboratorio di) chimica con passione: accettò!

Da lì abbiamo iniziato una proficua collaborazione che, superando intoppi burocratico-amministrativi e ondate Covid, continuerà anche nel 2022.

Diversi sono gli obiettivi che ci siamo proposti di centrare nei progetti finora messi a punto:

1. L'attività deve svolgersi in laboratorio.
2. Deve essere qualcosa di nuovo e mai fatto dai ragazzi, stimolante per loro e per noi docenti.
3. L'attività non deve essere banale dal punto di vista pratico, ma deve prevedere l'uso delle strumentazioni a disposizione nei nostri laboratori: piaccametri, spettrofotometri, microscopi, etc..
4. L'attività deve svolgersi in inglese (metodologia CLIL).
5. L'attività deve poter essere inserita anche nel PCTO (Percorsi per le Competenze Trasversali e l'Orientamento), quale modo per rafforzare le *soft skills* degli alunni.
6. Tutta l'attività pratica, riflessioni conclusive comprese, deve svolgersi in modo continuativo, in una unica giornata.
7. L'esperienza deve poter essere modulata in attività complementari diverse, da dividere fra gruppi di alunni che dovranno, alla fine, condividere i risultati ottenuti e metterli insieme per verificare che gli obiettivi siano stati raggiunti (*peer to peer education*).

Negli anni, tutti i ragazzi coinvolti, dopo un comprensibile momento iniziale di spaesamento per doversi relazionare con un docente di chimica in inglese, hanno reagito sempre molto bene, mettendosi in gioco con entusiasmo, anche quelli più riottosi all'uso della lingua di Albione. Complice, sicuramente, l'approccio di Gordon, informale e mai pedante, oltre che la tipologia di esperienze proposte, nuove e stimolanti.

Di seguito, viene presentato l'ultimo progetto, attuato nel febbraio del 2021 in piena pandemia e durante la prolungata DAD, che, però, prevedeva la saltuaria presenza a scuola degli alunni, per poter svolgere quelle attività pratiche (officine e laboratori) indispensabili alla didatti-

ca delle discipline tecniche e decisamente impossibili da svolgere a distanza.

Galeotto fu questa volta un lavoro trovato in Internet che spiega come simulare il rilascio del principio attivo di un farmaco all'interno del nostro organismo, utilizzando come matrice perle di alginato. Un tipo di esperienza pratica perfetta per alunni che frequentano l'indirizzo tecnico di Biotecnologie sanitarie del mio Istituto, dove da anni proponiamo svariate attività all'interno di un ampio progetto pluridisciplinare chiamato "Progetto Farmaci". Leggerlo e pensare di proporlo a Gordon fu un tutt'uno. Lui ci mise del suo e rilanciò presentandomi un altro lavoro che studia la dipendenza dal pH delle perle di alginato. Concordiamo che l'abbinamento è perfetto e ci permette di raggiungere tutti i nostri obiettivi.

Ora è il momento di aprire il sipario e di mostrare di cosa si tratta.

### **Alginato nei sistemi di somministrazione dei farmaci**

La microincapsulazione è una tecnica comunemente usata per modificare il profilo farmacocinetico dei farmaci nell'organismo. Ciò è necessario, poiché l'utilità di molti farmaci è compromessa da solubilità, assorbimento e metabolismo sfavorevoli, che riducono l'efficacia del medicinale.

Alcuni polimeri possono aiutare a proteggere il medicinale mentre è nel corpo intrappolandolo all'interno della struttura polimerica. Questi polimeri devono avere proprietà particolari: devono possedere la proprietà di formare una barriera semipermeabile per incapsulare il medicinale, devono essere atossici, stabili e rilasciare il

medicinale in modo riproducibile nel tempo piuttosto che tutto in una volta.

L'alginato è un polimero idrocolloide naturale versatile e non tossico ottenuto da alghe, che viene utilizzato in un'ampia gamma di applicazioni nelle industrie alimentari e farmaceutiche. I polimeri di alginato possono essere adattati a un gran numero di applicazioni e vengono prodotti più di 200 tipologie (gradi) e sali di alginato. È comunemente disponibile come sale sodico. In forma ultra-pura può essere utilizzato in impianti medici. In generale, l'uso dell'alginato nei medicinali dipende dalle sue proprietà addensanti, gelificanti e stabilizzanti. Negli ultimi anni è diventato molto popolare anche nella cosiddetta cucina molecolare, in particolare per la realizzazione del "finto caviale".

L'alginato forma facilmente un gel nella presenza di cationi polivalenti come il calcio e ha proprietà uniche rispetto ad altre macromolecole perché può formare due tipi di gel in base al pH della soluzione: nelle soluzioni acide forma un gel acido ad alta viscosità, mentre in soluzioni neutre e basiche forma un gel ionotropico nel quale i cationi fungono da ponti tra vari gruppi presenti nel polimero.

Perle di alginato si formano quando una soluzione di alginato di sodio viene aggiunta goccia a goccia a una soluzione contenente il catione. Quando la goccia entra nella soluzione cationica, la complessazione del calcio è immediata e le perline si formano mentre la catena polimerica si complessa attorno al catione [Figura 1]. Se la soluzione di alginato contiene anche un secondo componente, questo resterà intrappolato all'interno del cordone man mano che si forma. La formazione delle sfere di dimensioni riproducibili contenenti una quantità nota di principio attivo e dotati di cinetiche di rilascio riproducibili è una delle principali sfide tecniche nel campo della microincapsulazione.

L'alginato è un copolimero misto naturale costituito da unità di zucchero mannuronico e acido guluronico [Figura 2]. Questi zuccheri non si alternano lungo la struttura, anzi, vi sono regioni dove sono presenti residui guluronici contigui seguite da regioni più flessibili di acido polimannuronico.

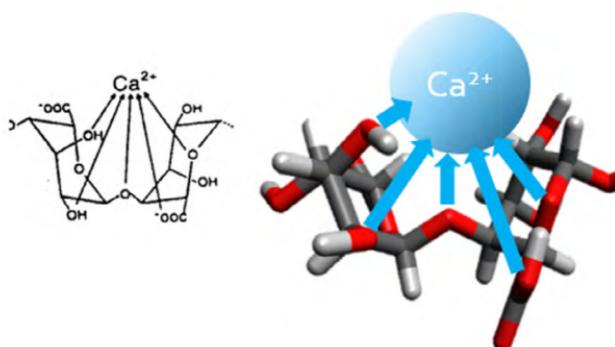


Figura 1 – Le unità di acido guluronico si impacchettano attorno al catione in tre dimensioni per trattenere saldamente gli ioni

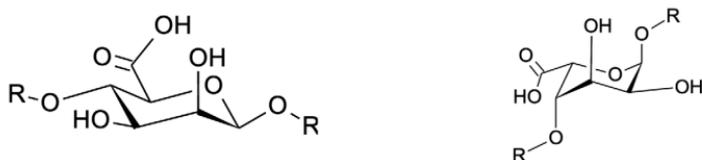


Figura 2 – L'alginato è costituito da unità di zucchero mannuronico (sinistra) e acido guluronico (destra)

La spiegazione generalmente accettata per la formazione del gel è il “modello della scatola delle uova” in cui le unità dell'acido guluronico si uniscono per formare una catena a zig-zag che assomiglia a una scatola delle

uova (Figura 3). L'acido carbossilico e i gruppi ossidrilici dell'acido glicuronico sono alla giusta distanza per interagire fortemente con cationi bivalenti come il calcio. Questi gruppi trattengono saldamente il catione in un complesso tridimensionale. La struttura gelificata complessiva si forma quando "scatole per le uova" su diverse catene si uniscono per formare regioni stabili che collegano le molecole di polimero insieme in una rete.

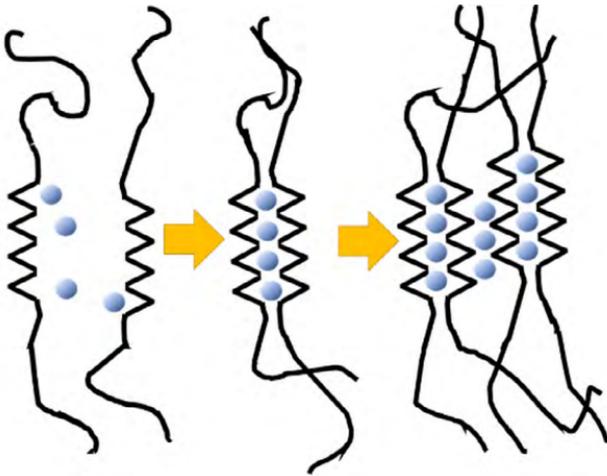


Figura 3 – Modello per la formazione del gel

### **Rilascio controllato di un farmaco**

La quantità di un farmaco consegnata dove deve svolgere il suo lavoro, dipende da quanto viene somministrato, quanto velocemente viene assorbito e come viene distribuito nel corpo. L'effetto clinico durerà fino a quando la concentrazione del farmaco scende al di sotto di un livello minimo a causa dell'escrezione e del metabolismo. Per un trattamento efficace, la quantità di medicinale nell'organi-

simo deve essere mantenuta il più a lungo possibile al di sopra di un certo valore (ad es. nella chemioterapia).

Essere in grado di somministrare un medicinale in modo semplice è migliore per il paziente e per il medico e poiché i medicinali non vengono mai somministrati al paziente come composti puri, richiedono un eccipiente che renda il medicinale più facile da dosare e gestire. Gli eccipienti sono composti inerti non tossici utilizzati nella formulazione di un medicinale per facilitarne la somministrazione al paziente (ad es. compresse). Nella microincapsulazione, le perle di alginato vengono utilizzate come eccipiente inerte.

Poiché il pH dell'ambiente interno del corpo non è costante, è importante capire come reagiranno le perle in diverse condizioni di pH. Ad esempio, lo stomaco è altamente acido e in queste condizioni i granuli di alginato di calcio non si gonfiano. Al contrario, l'intestino è leggermente basico che porta a gonfiare le perle di alginato. È stato dimostrato che le perle di alginato-chitosano mostrano un rilascio dipendente dal pH.

Il movimento del medicinale fuori dalla sfera dipende da quanto si gonfia la sfera. Se la sfera è gonfia, ci si aspetterebbe che il farmaco venga rilasciato più rapidamente poiché la struttura è più aperta. Ciò può richiedere un'ulteriore modifica della superficie dell'alginato al fine di controllare il rilascio del farmaco.

La modifica della superficie può essere eseguita rivestendo le perle di alginato con altri polimeri naturali come pectina e chitosano. Questo rende la perla più stabile e rallenta il rilascio del medicinale dalla perla. Questo può essere molto utile per i medicinali che sono molto solubili in acqua.

L'esperienza di laboratorio qui descritta si basa sul lavoro precedentemente descritto da Filipponi nell'ambito delle attività nel campo delle nanotecnologie e sul lavoro

di Chuang che ha fornito l'ispirazione per adattare il lavoro ad una classe di scuola superiore.

### **Una nota sul laboratorio dell'alginato**

Il laboratorio qui proposto si basa su segnalazioni in letteratura relative a studi sull'incapsulamento di microsfeere di alginato. È concepito come un'esperienza didattica per introdurre gli studenti più grandi ai fattori coinvolti nell'affrontare un problema interdisciplinare. Non è inteso come un pezzo di ricerca primaria di per sé.

Il laboratorio pone una serie di questioni pratiche tra cui:

1. Standardizzazione della sintesi delle perle di alginato.
2. Misura del decorso temporale del rilascio del farmaco da molecole incapsulate.
3. Misura degli effetti del cambiamento delle condizioni di pH sulla formazione delle perle.

Per un'esperienza didattica utile c'è bisogno di un equilibrio tra riproducibilità (basta seguire una ricetta per vedere un risultato) e novità. Quest'ultimo è spesso parte dell'adattamento dell'esperienza al contesto locale. La riproducibilità di un esperimento di laboratorio è di primaria importanza nel metodo scientifico; tuttavia, assume un ruolo particolare quando quell'esperimento fa parte di un'esperienza didattica perché fornisce all'insegnante una maggiore certezza dell'esito.

Gli esperimenti falliti sono una parte normale della ricerca scientifica e didatticamente possono essere utili per esaminare i diversi fattori che portano al risultato. Tuttavia, a livello scolastico con studenti relativamente inesperti, possono essere fonte di delusione e frustrazione, in particolare dove non è chiaro cosa sia andato storto. È per questo motivo che un esperimento in un ambiente

didattico deve essere strutturato in modo tale che qualsiasi errore possa essere utilizzato come parte dell'esperienza di apprendimento.

### **Sviluppo del progetto**

Il progetto è stato sviluppato con gli alunni di una classe quarta di un indirizzo tecnico di Biotecnologie sanitarie e si è svolto nell'arco di una mattinata scolastica, dalle otto all'una, corrispondenti a cinque ore di lezione, suddivise in una prima mezz'ora di introduzione dell'attività, tre ore e mezza di lavoro in laboratorio e l'ultima ora di presentazione e discussione dei risultati.

L'introduzione è stata fatta sotto forma di domande-stimolo, alcune delle quali sono state risolte subito, altre sono diventate gli obiettivi guida per il lavoro di laboratorio.

### **Introduzione**

Domande motivazionali:

- Perché il tema del progetto è la somministrazione controllata dei farmaci?
- Come varia il pH nei diversi ambienti del corpo?
- Cos'è l'alginato?
- Come può essere utilizzato per aiutare a sviluppare prodotti farmaceutici?

Domande obiettivo:

- In che modo i componenti della catena di alginato influiscono sul rilascio dell'agente colorante?
- In che modo il pH influisce sulla forma delle perle di alginato? (macrofotografia con smartphone)

Dopo l'introduzione, seguendo le domande obiettivo, la classe è stata divisa in due gruppi. Il primo gruppo, nel

laboratorio di chimica, ha simulato il rilascio nel tempo del principio attivo di un farmaco da un vettore come le perle di alginato. Nell'attività pratica il principio attivo è stato sostituito da opportuni coloranti, più facili da tracciare visivamente e quantificabili utilizzando gli spettrofotometri in dotazione al laboratorio. Il secondo gruppo, nel laboratorio di biologia, ha indagato come il pH influisce sulla forma delle perle di alginato.

Il lavoro dei due gruppi si è sviluppato secondo i seguenti schemi:

### **Gruppo 1 – Studio del rilascio nel tempo di un colorante da perle di alginato**

Il lavoro in laboratorio è stato organizzato in modo tale che:

1. Gli studenti lavorino individualmente per realizzare le perle di alginato.
2. Gli studenti siano divisi in due sottogruppi:
  - Ogni sottogruppo studierà il rilascio nel tempo di un colorante diverso.
  - Ogni sottogruppo studierà l'effetto della copertura delle perle di alginato con una pellicola di chitosano, sul rilascio nel tempo del colorante.

<b>Gruppo 1A</b>	<b>Gruppo 1B</b>
Colorante: E123 Amaranto 0,05% p/v	Colorante: Blu di coomassie 0,05% p/v

I ragazzi iniziano a lavorare individualmente, preparando le perline colorate. A questo scopo, mescolano 0,25g di alginato con 25 ml di soluzione colorante allo 0,05% e riscaldano fino a completa dissoluzione.

La soluzione colorata così ottenuta, dopo essere stata raffreddata, viene prelevata con una siringa di plastica (senza ago) e fatta cadere, lentamente e goccia a goccia, all'interno di una soluzione di  $\text{CaCl}_2$  1% p/v (Figura 4).

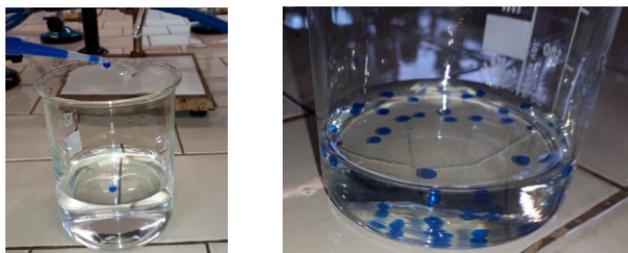


Figura 4 – Formazione delle perle di alginato

Si formano le perline che devono essere rapidamente filtrate, lavate con una piccola quantità di soluzione fredda di  $\text{CaCl}_2$  e trasferite su un vetrino da orologio (Figura 5).



Figura 5 – Rilascio del colorante nel tempo

Il rilascio nel tempo dei coloranti viene controllato spettrofotometricamente, quindi, l'esperimento prosegue con i due sottogruppi che preparano le rette di taratura, partendo da soluzioni allo 0,05% di colorante, che vengono

opportunamente diluite e portate allo spettrofotometro per misurarne l'assorbanza.

I valori così ottenuti vengono inseriti in fogli Excel, dai quali si ricavano le rette richieste (Figura 6).

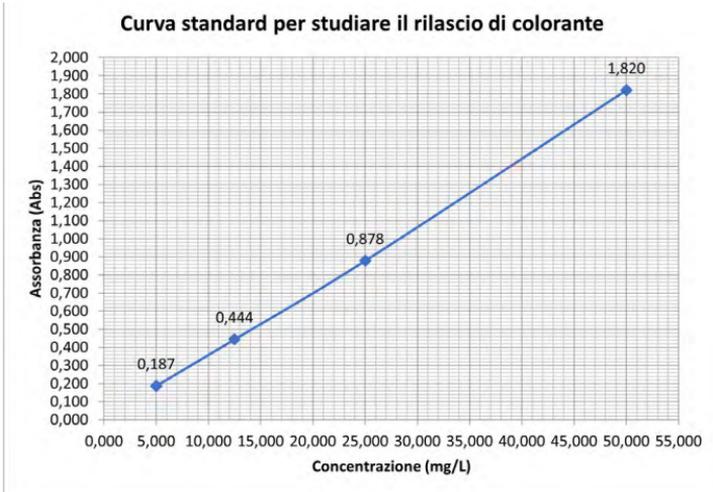


Figura 6 – Retta di taratura Assorbanza/concentrazione

Una volta ottenuta la retta di taratura, gli alunni procedono raccogliendo i dati relativi al rilascio nel tempo dei coloranti. Questo viene fatto ponendo, in una provetta, un preciso numero di perline (10) assieme ad una precisa quantità di acqua (10 ml), si agita leggermente e, ad intervalli regolari di tempo, si preleva una quantità di soluzione con la quale si riempie una cuvetta da portare allo spettrofotometro per misurarne l'assorbanza. I valori riportati sulla retta di taratura permetteranno di ricavare la concentrazione del colorante rilasciato dalle perle di alginato in relazione al tempo (Figura 7).

Nel frattempo, altri ragazzi dei due sottogruppi hanno immerso in una soluzione di chitosano alcune perline di

alginato colorate, in modo tale da ricoprirle di una sottile pellicola protettiva. Anche su queste perline è stato misurato il rilascio del colorante nel tempo, usando la procedura sopra descritta.

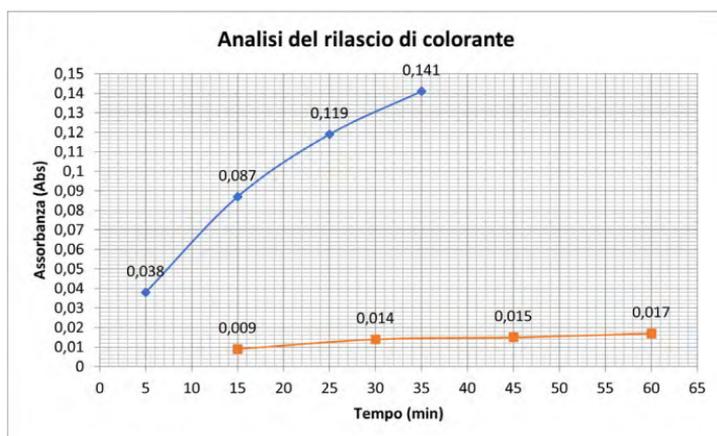


Figura 7 – Grafico di confronto del rilascio nel tempo di colorante dalle perle di alginato ricoperte da chitosano (curva rossa) o senza chitosano (curva blu)

### Work up sperimentale

Una volta raccolti i dati sperimentali, i due sottogruppi li hanno ordinatamente riportati in tabelle e grafici al computer, in modo tale da poter essere più facilmente analizzati e confrontati. Hanno osservato la differenza nei tempi di rilascio tra i due diversi coloranti e tra le perle di alginato con o senza chitosano. Hanno ragionato su come giustificare i loro risultati, consapevoli che avrebbero dovuto, di lì a poco, esporli ai loro compagni che stavano facendo la seconda parte dell'esperimento.

Nel frattempo, infatti, l'altra metà dei ragazzi non era rimasta con le mani in mano.

### **Gruppo 2 – studio dell'effetto del pH sulla forma delle perle di alginato**

Il lavoro in laboratorio è stato organizzato in modo tale che:

1. Gli studenti lavorino individualmente.
2. Ogni studente realizzerà le perle di alginato e verificherà l'effetto del pH sulla loro forma.

In questo secondo gruppo, i ragazzi iniziano il lavoro preparando tre soluzioni di  $\text{CaCl}_2$  1% p/v a tre diversi valori di pH (1, 7 e 10).

Preparano, poi, le soluzioni di alginato mescolano 0,25g di composto con 25 ml di soluzione colorante allo 0,05% e riscaldano fino a completa dissoluzione.

Una volta ottenute le soluzioni, effettuano tre esperimenti in sequenza, durante i quali preparano le perline facendo cadere goccia a goccia la soluzione di alginato prelevata con una siringa all'interno delle tre soluzioni di cloruro di calcio a diverso pH.

Ogni volta le perline vengono filtrate rapidamente, vengono lavate con una soluzione fredda di  $\text{CaCl}_2$  e trasferite su un vetrino da orologio.

Con delicatezza le perline, almeno tre per ogni valore di pH, vengono trasferite sopra un foglio di carta millimetrata e, utilizzando la funzione macro degli smartphone, si scattano foto sia di profilo che dall'alto, in modo di poterne misurare altezza e larghezza (Figura 8, 9, 10, 11).

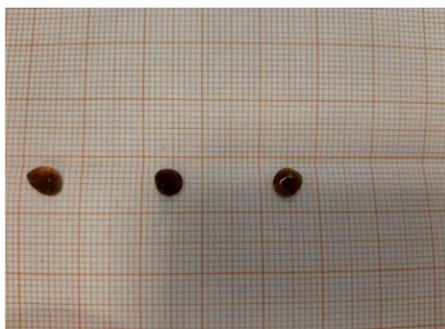


Figura 8 – Le perle ottenute a pH 1 durante la formazione hanno cambiato colore da blu a marrone e sono rimaste in superficie. Hanno una forma regolare ma sono piatte

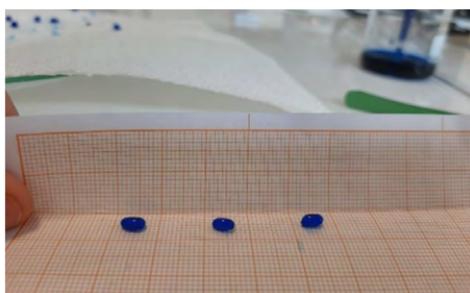


Figura 9 – Le perle ottenute a pH 7 restano di colore blu e durante la formazione restano sul fondo. Sono irregolari e hanno una forma ovale

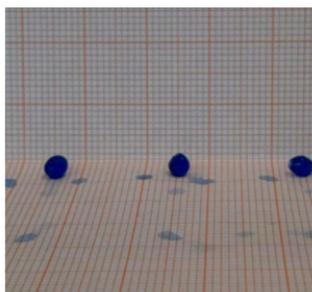


Figura 10 – Le perle ottenute a pH 10 restano di colore blu e durante la formazione restano nel fondo. Sono regolari e hanno una forma arrotondata

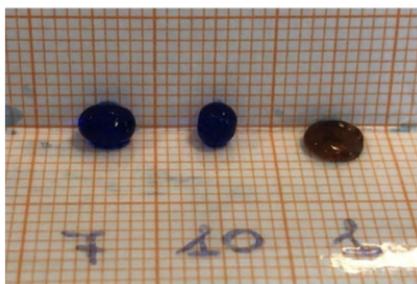


Figura 11 – 3 perle ottenute a diverso pH messe a confronto

I dati vengono raccolti in tre tabelle, una per ogni valore di pH (Figura 12).

Soluzione di $\text{CaCl}_2$ a pH.....		
Perlina	Altezza	Larghezza
1		
2		
3		
Valore medio		

Figura 12 – Modello di tabella per la raccolta dei dati

### Work up sperimentale

Una volta raccolti i dati sperimentali, i ragazzi hanno costruito dei grafici Excel, che mostrano l'andamento dell'altezza e della larghezza delle perline di alginato in funzione del pH. Hanno confrontato i dati ottenuti tra di loro e hanno ragionato su come il pH influenzi la forma delle perle. Infine, hanno preparato una relazione per condividere con il resto della classe i risultati ottenuti.

### Condivisione e discussione finale sui risultati ottenuti

Conclusa la parte sperimentale, i ragazzi e i docenti si sono riuniti in aula per condividere e discutere i risultati ottenuti. Un portavoce per ogni gruppo ha, brevemente, relazionato sul lavoro svolto, mettendo in evidenza criticità e possibili approfondimenti. Infine, i dati sono stati raccolti in un'unica tabella per tipologia di esperimento, in modo tale da poter essere più facilmente confrontati, così da mettere in evidenza eventuali anomalie.

Gli ultimi minuti della mattinata sono trascorsi in relax, tra scambi di impressioni e battute in libertà tra alunni e docenti che così hanno raccolto, a caldo, le impressioni dei ragazzi, tutte molte positive con un unico rammarico riguardante la sporadicità di questo tipo di progetti.

### **Conclusioni**

Sia per i docenti che per gli alunni il progetto non si è concluso con la mattinata di “lavoro sul campo”, ma è proseguito. I ragazzi hanno redatto due relazioni, una in italiano per il docente di chimica che doveva valutare il lavoro dal punto di vista tecnico-pratico e un'altra in inglese per la docente che doveva valutare la loro capacità espressiva in una lingua straniera. I docenti hanno preparato una relazione, poi presentata al collegio docenti, nella quale hanno evidenziato gli obiettivi raggiunti, le criticità incontrate e i possibili sviluppi del progetto.

Obiettivi raggiunti:

- I ragazzi hanno provato cosa significa svolgere un lavoro in equipe utilizzando l'appropriato linguaggio tecnico, ma in una lingua straniera: si sono messi in gioco tutti, anche i più insicuri.
- Grazie al numero di ore a disposizione, i ragazzi hanno potuto svolgere un'esperienza di laboratorio non banale in modo continuativo, dall'inizio alla fine, senza le solite interruzioni dovute alla scarsità di tempo imposta dall'orario curriculare.

Punti critici:

- I coloranti sono stati scelti tra quelli disponibili nel magazzino del laboratorio di chimica e non si sono dimostrati efficienti nello stesso modo. Le soluzioni di E122 hanno dato buoni risultati sia nella tempisti-

ca del rilascio del colore sia nella costruzione della retta di taratura, mentre le soluzioni di blu coomassie non hanno soddisfatto le aspettative, probabilmente le concentrazioni di quel tipo di colorante dovevano essere più basse.

- Le misure di altezza, larghezza e spessore non sono così ovvie per solidi quasi sferici. Sarà, quindi, opportuno che la misura delle dimensioni delle perle di alginato segua uno standard preventivamente concordato.

Possibili sviluppi:

- Studiare l'effetto del pH sul rilascio del colorante.
- Studiare l'effetto del chitosano sulla forma delle perle di alginato al variare del pH.
- Utilizzare una siringa a pompa autocostruita per ottenere perline di dimensioni e forme il più omogenee possibili (Pompa siringa Lego: <https://www.labonthecheap.com/fluid-exchange-with-legos-and-imagej-nanoj-fluidics/>).
- Fare un'analisi statistica della forma delle perle utilizzando ImageJ (Fiji).

## Bibliografia

Filipponi, L., 2013, (iNANO) NANOPINION Educational Resources Experiment A – Controlled Drug Delivery Interdisciplinary Nanoscience Center Aarhus University, Denmark August 2013.

[http://nanopinion.archiv.zsi.at/sites/default/files/experiment\\_a\\_teacher\\_document\\_final.pdf](http://nanopinion.archiv.zsi.at/sites/default/files/experiment_a_teacher_document_final.pdf)

<https://pls.scienze.unipd.it/chimica/wp-content/uploads/sites/2/2021/09/Esperimento-rilascio-farmaci.doc>

Chuang, J-J., et al, 2017, “Effects of pH on the Shape of Alginate Particles and Its Release Behavior”, International Journal

- of Polymer Science, vol. 2017, Article ID 3902704, 9 pages, <https://doi.org/10.1155/2017/3902704>
- Tønnesen, H.H., Karlsen, J., 2002. Alginate in Drug Delivery Systems, Drug Development and Industrial Pharmacy, 28:6, 621-630, DOI: 10.1081/DDC-120003853, <https://www.Tandfonline.Com/doi/full/10.1081/ddc-120003853>
- McHugh, D.J., 2003, Section 5.3.4 pharmaceutical and medical uses (of alginate) in A guide to the seaweed industry, FAO FISHERIES TECHNICAL PAPER 441, <https://www.fao.org/3/y4765e/y4765e08.htm#bm08.3.4>
- McHugh, D.J., 2003, Chapter 2 - production, properties and uses of alginates in A guide to the seaweed industry, FAO FISHERIES TECHNICAL PAPER 441, <http://www.Fao.Org/3/x5822e/x5822e04.htm>
- Teague, N., 2021, website: 2\_Spherification in the Molecular Gastronomy – The Ultimate Guide, Accessed at [https://www.cuisinevault.com/molecular-gastronomy/#2\\_Spherification](https://www.cuisinevault.com/molecular-gastronomy/#2_Spherification)

## **8. Alla scoperta del Suolo... presentazione di un ciclo di attività sperimentali per studenti delle scuole secondarie**

*Emilia Regni<sup>a</sup>, Marco Laveder<sup>b</sup>, Serenella Nardi<sup>c</sup>, Giuseppe Concheri<sup>c</sup>, Maria Cristina Della Lucia<sup>c</sup>, Giovanni Concheri<sup>d</sup>*

<sup>a</sup> Liceo Scientifico Statale E. Fermi di Padova, <sup>b</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Padova, <sup>c</sup> Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente dell'Università degli Studi di Padova, <sup>d</sup> Studente di Fisica dell'Università degli Studi di Padova

**Abstract.** La parte superiore della superficie terrestre che permette la vita dei vegetali, dei microrganismi, degli animali e dell'Uomo è chiamata Suolo ed è, quindi, uno dei beni più preziosi dell'Umanità da proteggere e da salvaguardare. Secondo la Società Italiana di Pedologia "il Suolo è un mondo pieno di vita : scoprirne i segreti e incontrare i suoi abitanti è un'avventura incredibile e coinvolgente". Ma, come interessare i ragazzi a un argomento complesso, così importante e allo stesso tempo rilevante per la società, per l'ambiente?

È presto detto: occorre farli interagire direttamente sul campo e in seguito nel laboratorio della scuola, con semplici attività adatte a loro, che presentiamo in questo contributo. Sottolineiamo che queste 6 attività sono state selezionate in base alla loro efficacia didattica nel far scoprire attivamente cosa sia il suolo, dai vari punti di vista (chimico, fisico, biologico, geologico) e quale metodo utilizzare per studiarlo. Inoltre, così facendo i ragazzi vengono a scoprire i loro interessi specifici ma anche le loro capacità, che comunque sviluppano cammin facendo, con passione e coinvolgimento anche affettivo-emotivo.

In sintesi, questo ciclo di 6 attività sperimentali “alla scoperta del Suolo...” sviluppa le seguenti competenze:

- l’osservazione specifica e la raccolta analitica dei dati sul suolo: dal campo al laboratorio, coinvolgendo gli studenti fin dalle prime fasi;
- la comprensione e l’utilizzo del metodo sperimentale;
- il lavoro interdisciplinare e i collegamenti tra i fenomeni chimici, fisici, biologici, geologici degli ecosistemi;
- l’aggiornamento sui temi di attualità riguardo all’ambiente e l’impegno per una società civile, con uno sviluppo equo, solidale e sostenibile.

## Introduzione

*“In tutta la natura non c’è niente di più importante e che meriti altrettanta attenzione quanto il Suolo. Effettivamente, è il Suolo che fa diventare il mondo un ambiente accogliente per l’umanità. È il Suolo che nutre e provvede per la natura; l’intero creato dipende dal Suolo, che è il fondamento della vita.”*

Friedrich Albert Fallou, 1862;  
fondatore della **pedologia**, la scienza dei Suoli.

Il Suolo è molto di più di un semplice strato di frammenti rocciosi.



Figura 1– Profilo di Suolo della Val Chiavenna.

È un sistema delicato e complesso, costituito da quattro fondamentali componenti: frazione inorganica, frazione organica e biologica, acqua e aria.

Tra gli organismi viventi si scoprono straordinari processi di collaborazione; si tratta di innumerevoli relazioni specifiche tra microrganismi, vegetali e animali.

*“La Vita non è solo lotta di competizione, ma è trionfo di cooperazione e creatività [...]”*

Fritjof Capra, *La rete della vita*, 1997

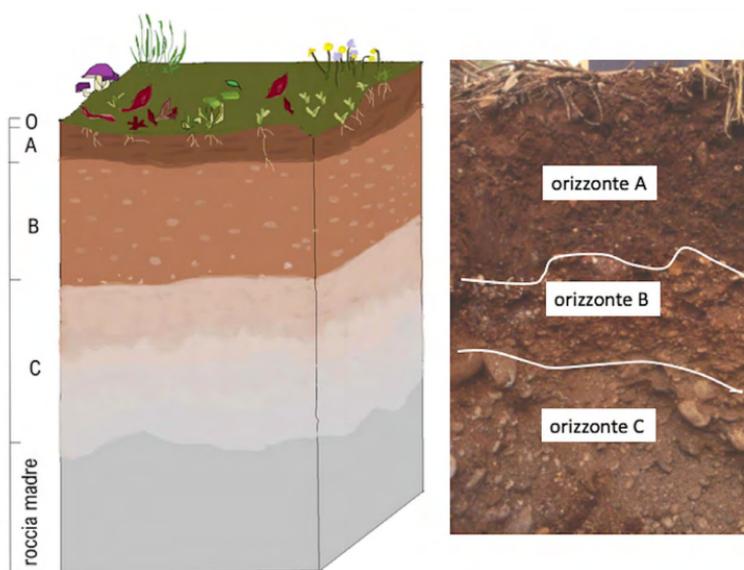


Figura 2 – Gli orizzonti del suolo.

Come mostrato in Figura 2 il suolo è costituito da diversi orizzonti (strati):

**O-** strato più superficiale costituito da resti organici vegetali e animali poco decomposti: la **lettiera**.

**A-** strato ricco di sostanza organica decomposta (detta **humus**), mescolata a minerali argillosi; solcato dalle radici delle piante e popolato da microrganismi (batteri, funghi).

**B-** strato povero di sostanze organiche, ma ricco di minerali trasportati dall'acqua provenienti dagli strati superiori.

**C-** strato di roccia alterata; contiene frammenti rocciosi non ancora completamente disgregati; il colore dipende dai minerali della roccia madre.

**R- Roccia madre**, sottostante il Suolo.

Lo studio del Suolo, pur essendo fondamentale per la

comprensione dello sviluppo della Vita e la tutela degli ecosistemi, viene raramente trattato nei Licei scientifici. Ancora più grave è che non venga accompagnato da esperienze di laboratorio.

Vogliamo invece dimostrare che i ragazzi coinvolti in questi esperimenti e partecipi fin dall'inizio delle attività (ad es. la raccolta di profili di Suolo anche nei luoghi limotrofi alle loro abitazioni) sono molto interessati e comprendono meglio gli argomenti fondamentali della chimica, fisica, biologia, geologia, affrontati nei programmi scolastici. Comprendono anche meglio i meccanismi che stanno alla base della tutela degli ecosistemi naturali e agricoli e vi si appassionano in quanto ne colgono il valore anche per la loro vita quotidiana.

### **Attività di laboratorio rivolte agli studenti**

Presentiamo 6 attività sperimentali rivolte a studenti delle Scuole secondarie superiori di licei scientifici (e/o altri indirizzi) da inserire nei programmi di chimica inorganica e/o geologia, del quarto o quinto anno, ma anche del biennio.

Riportiamo, in sintesi le attività svolte nel nostro Liceo e ormai collaudate da alcuni anni.

Partiamo dalle domande fondamentali:

- Cos'è il Suolo?
- Come si forma? che caratteristiche ha?
- Ma chi ci abita?
- È davvero così importante per la nostra Vita?

A questo punto, per scoprire insieme, suddividiamo la classe di 28 studenti in 6 gruppetti di lavoro; ogni gruppetto, in laboratorio, svolge una attività e poi a rotazione tutte le altre; occorrono dalle 4 alle 6 ore di laboratorio, da suddividere in 2 o 3 mattinate diverse.

Le 6 attività sperimentali sono:

- 1) Raccogliamo lettiere e profili di Suolo: osserviamo attentamente.
- 2) Facciamo una stima della presenza di aria e acqua nel Suolo.
- 3) Analisi fisico-meccanica: permeabilità e struttura.
- 4) Studiamo la tessitura: % di argilla-limo-sabbia (2 protocolli diversi), è importantissima questa misura. Facciamo una stima della permeabilità del terreno.
- 5) Ma...chi vive nel Suolo?? Indaghiamo, è importantissimo, con la lente di ingrandimento a caccia di:
  - Microrganismi
  - Invertebrati-vertebrati
  - Piante con i loro apparati radicali: che forme hanno?
- 6) pH: ma quanto è il pH del Suolo? Misuriamolo con metodi diversi.
- 7) Scopriamo la presenza di carbonati nel Suolo e la loro importanza fondamentale.



Figura 3 – Provette e reagenti per la determinazione delle proprietà del suolo.

### **Attività 1. Determinazione delle forme di humus**

Le forme di humus corrispondono sia ad orizzonti organici costituiti esclusivamente da sostanza organica sia a quelli organo-minerali nei quali la sostanza organi-

ca è frammista a sostanza minerale. Le caratteristiche morfologiche degli orizzonti legate all'evoluzione della sostanza organica permettono la loro distinzione in tipi differenti.



Figura 4 – Esempio di zolla di terreno con prato, raccolta da uno studente alla Guizza (Pd) e analizzata nel laboratorio della scuola.

Nella prima fase di questa attività, gli studenti vengono coinvolti nella raccolta di lettiere e profili di Suolo, nei territori più o meno prossimi alle loro abitazioni. Questa prima fase è molto divertente per loro e viene riempito il laboratorio della scuola di lettiere diverse e profili di Suolo di vario genere: suoli forestali (con più o meno sostanza organica), suoli agrari, suoli di deposito alluvionale degli alvei fluviali (contenente limo) o suoli presi nei propri giardini e orti, nel bosco vicino casa.

I docenti portano dei campioni di argilla, sabbia, terriccio (campioni con tessitura diversa). La classe si reca nel giardino della scuola per raccogliere un campione di terreno dalle aiuole della scuola.

Inizia l'osservazione accurata e descrizione del materiale portato in laboratorio.

Aiutare gli studenti ad osservare accuratamente il loro profilo di Suolo in laboratorio, scoprire e descrivere le caratteristiche dei vari orizzonti.

Soffermiamoci sulla lettiera e osserviamo accuratamente...

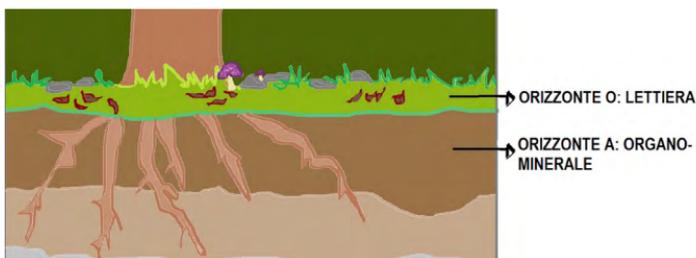


Figura 5 – Orizzonti diagnostici per la classificazione delle forme di humus.

La lettiera è l'insieme di sostanze organiche morte situate sulla superficie del suolo, come rami, foglie e animali. Le sostanze sottostanti in via di decomposizione raggiungono prima o poi l'aspetto umificato, dove i resti organici della lettiera vengono "smontati" in composti più semplici dall'azione di organismi decompositori, soprattutto batteri e funghi microscopici.

Essa ha uno spessore che può variare da pochi a molti cm e consiste anche in un'importante riserva di carbonio.

Invitiamo gli studenti ad osservare bene i vari campioni di lettiera portati in laboratorio e annotarne le caratteristiche.

Gli orizzonti pedologici (strato ben identificabile di suolo distinguibile dagli altri sovrastanti o sottostanti) vengono diversificati con l'uso di lettere maiuscole. In particolare, la lettiera rappresenta l'orizzonte O e può essere di tre tipi (visibili nelle foto sottostanti) :

**OL:** è il meno decomposto tra i tre e i suoi costituenti sono chiaramente riconoscibili a occhio nudo. La sostanza

organica fine (s.o.f.) è infatti presente in percentuale 5-10%.

**OF:** orizzonte più decomposto del precedente, ma comunque i suoi costituenti sono riconoscibili a occhio nudo. Formata da escrementi di pedofauna e da frammenti minuti di materiale organico, frequenti le radici e i miceli.

**OH:** è l'orizzonte più decomposto di tutti, infatti la percentuale di s.o.f. è più del 70%. Costituita da coproliti, micro-detriti vegetali e fungini, la cui struttura non è riconoscibile a occhio nudo; talvolta sono presenti particelle minerali derivanti dall'azione di rimescolamento operata dalla pedofauna. Il colore caratterizzante è dal bruno rossastro al nero.



Figura 6 – Da sinistra: orizzonte OL, OF e OH.

## L'humus e il suo ruolo ambientale

L'humus svolge funzioni fondamentali: è dunque importante chiarirne con i ragazzi gli aspetti fondamentali, che riportiamo sinteticamente di seguito.

L'humus è un insieme di molecole organiche provenienti da decomposizione di resti animali e vegetali, presente nel terreno e di primaria importanza per la nutrizione delle piante. L'humus rappresenta la parte più attiva, sotto l'aspetto chimico e fisico, della sostanza organica del terreno e interagisce con la frazione minerale e con la solu-

zione circolante ( $H_2O$  presente nel sottosuolo) influenzando le proprietà chimiche e fisiche del terreno. La scoperta dell'importanza dell'humus per la nutrizione della pianta la si fa risalire all'agronomo tedesco Albrecht Thaer (1952-1828).

Grazie alle sue proprietà fisiche e chimiche l'humus svolge importanti funzioni che conferiscono al terreno buone caratteristiche fisiche, chimiche e meccaniche.

I riflessi positivi sulle proprietà fisico-meccaniche sono essenzialmente associati alla formazione di una struttura stabile e di tipo glomerulare.

Un terreno dotato di una buona struttura ha un rapporto equilibrato fra umidità e aerazione, è permeabile, soffice. Tra le sue funzioni specifiche troviamo:

- 1 L'elevata capacità d'imbibizione dell'humus, questa conferisce al terreno una maggiore capacità di ritenzione idrica, che offre alle piante e ai microrganismi migliori condizioni di abitabilità e, nel contempo, condizioni meccaniche che riducono i costi delle lavorazioni e dell'irrigazione.
- 2 Le condizioni di solubilità favorevoli all'assorbimento degli elementi nutritivi.
- 3 Sotto l'aspetto ambientale è fondamentale l'azione anti-erosiva dell'humus, in quanto la formazione dei complessi umo-argillosi permette una maggiore resistenza all'erosione superficiale e al dilavamento. L'importanza di questo ruolo è tale che i suoli forestali montani e collinari interessati da incendi e disboscamenti incontrollati vanno incontro nell'arco di pochi anni all'erosione e al dissesto idrogeologico.
- 4 Non meno importante è il ruolo svolto dalle alte dotazioni in humus nel preservare fenomeni di inquinamento delle falde acquifere grazie all'assorbimento e all'inattivazione di sostanze a potenziale azione tossica (composti organici di sintesi, metalli pesanti).

## Attività 2. Facciamo una stima della presenza di aria e acqua nel terreno

Il suolo è costituito da quattro fasi: una minerale, una organica, una liquida ed una aeriforme. La presenza dell'aria è indispensabile per permettere le condizioni ossidative e gli scambi gassosi. Mentre la presenza dell'acqua è fondamentale per la crescita delle piante e lo sviluppo dei microorganismi.

L'obiettivo di questa attività è di verificare la presenza di aria nel terreno.

I materiali occorrenti sono:

- 1 contenitore graduato
- 20 ml di terra
- 20 ml di acqua



Figura 7 – Cilindro che contiene una sospensione di suolo e acqua.



Figura 8 – Cilindro che contiene un campione di suolo per la verifica del contenuto di acqua.

Il procedimento è il seguente:

- 1 Mettere il campione di terra raccolto all'interno del contenitore
- 2 Aggiungere lentamente l'acqua al contenitore con la terra

Si osserva che dopo qualche istante dalla terra inizieranno a fuoriuscire delle bollicine che andranno verso la superficie dell'acqua.

La somma dei volumi di acqua e terra è inferiore rispetto alle quantità iniziali usate (20 ml + 20 ml).

In conclusione, l'acqua ha preso il posto dell'aria presente nella terra che quindi risale verso la superficie.

Il volume mancante nel composto finale corrisponde all'aria risalita in superficie, circa 25% (5 ml/20 ml)

Per verificare la presenza di acqua nel terreno i materiali occorrenti sono:

- 1 contenitore con coperchio
- 1 campione di terra

Il procedimento è il seguente:

- 1 Mettere il campione di terreno nel contenitore.
- 2 Chiudere il contenitore con un coperchio.

Dopo un po' di tempo si osserva che le pareti del contenitore iniziano ad appannarsi. Dopo qualche ora, inizieranno a formarsi anche delle goccioline di umidità.

In conclusione, la condensa sulle pareti del contenitore è dovuta all'evaporazione dell'acqua presente nella terra.

### **Attività 3. Analisi fisico-meccanica del Suolo (permeabilità e tessitura)**

Permeabilità e tessitura sono due proprietà fisiche del suolo che ricoprono un ruolo importante. La permeabilità è riferita alla capacità di favorire la percolazione dell'acqua. Mentre la tessitura esprime la distribuzione delle particelle

del suolo in classi di grandezza definita secondo diversi sistemi di classificazione.

Lo scopo di questa attività è di valutare la permeabilità del suolo. Mediante questo esperimento siamo andati a verificare la capacità di assorbimento di un terreno calcolandone la quantità di acqua che lo attraversa. I materiali utilizzati sono:

- 3 cilindri graduati
- 3 imbuto
- 3 campioni di suolo

È stato necessario considerare lo stesso volume per ogni campione in modo da ottenere risultati confrontabili. I campioni devono essere perfettamente asciutti.

Abbiamo messo un po' di cotone sul fondo di ogni imbuto (dove c'è la struttura), dopodiché abbiamo riempito gli imbuto con diversi tipi di terreno. Abbiamo inserito i tre imbuto nel collo di tre cilindri vuoti. Abbiamo versato in ciascun imbuto l'acqua. Misurando il volume dell'acqua raccolta in ciascun contenitore e sottraendolo a quello dell'acqua versata, si ottiene la quantità di acqua trattenuta: si tratta di un parametro molto importante per le coltivazioni.

A questo punto abbiamo misurato la permeabilità e la porosità del terreno.

Nella seconda parte dell'attività è stato determinato il contenuto di scheletro e di terra fine. Secondo la Società Internazionale della Scienza del Suolo, si intende come scheletro di un terreno, l'insieme delle particelle con un diametro superiore a 2 mm, mentre la terra fine è costituita dalle particelle con diametro inferiore. I materiali impiegati sono:

- Setaccio con maglie da 2 mm
- 500 g di terreno

Si prendono 500 grammi di terreno seccato all'aria e

sminuzzato, come descritto in precedenza, vengono setacciati con un vaglio tarato sotto un filo di acqua aiutandosi con un pennello o in mancanza con le mani fino a quando l'acqua è limpida. Si secca il setaccio all'aria o con la stufa alla temperatura di 105° e si pesa.

Il sopra vaglio, con particelle di diametro maggiore di 2 mm, costituisce lo scheletro del terreno, le particelle comprese tra 2 mm e 0,2 mm la sabbia grossa, mentre quelle con diametro minore di 0,2 il materiale fine (limo e argilla).

La percentuale dello scheletro si ottiene facendo la differenza tra le pesate e dividendo per 5.

#### CARATTERISTICHE DEI TERRENI IN BASE ALL'ANALISI FISICO-MECCANICA

	<b>Argilla %</b>	<b>Limo %</b>	<b>Sabbia %</b>
terreno equilibrato	<20	30-50	30-50
terreno a struttura sabbiosa	-		>60
terreno a struttura limosa		>50	
terreno a struttura argillosa	>45		
terreno a struttura sabbio-limosa grossa	>15	>15	grossa fine >45 <40
terreno a struttura sabbio-limosa fine	<15	<15	<45 >40
terreno a struttura limo-sabbiosa grossa	15-35	15-35	>40 >40
terreno a struttura limo-sabbiosa fine	15-35	15-35	<40 >40
Terreno a struttura limo-sabbiosa argillosa	15-25	20-30	<55
terreno a struttura limo-argillosa	15-25	>45	<35

terreno a struttura argillo-sabbiosa	25-45	<20	>55
terreno a struttura argillo-limosa	25-45	>45	<25



Figura 9 – Setaccio utilizzato durante la procedura.

Successivamente, è stata determinata la tessitura del suolo, che rappresenta la percentuale di sabbia, limo e argilla. La tessitura regola direttamente e indirettamente, importanti proprietà dei suoli: la permeabilità all'aria e all'acqua; la plasticità e quindi la lavorabilità; la capacità di trattenere l'acqua; la disponibilità di elementi nutritivi.

Per la determinazione della quantità in percentuale di sabbia, limo e argilla presenti nel terreno sono presenti di-

versi metodi. Quello da noi utilizzato è il metodo densimetrico che prevede la misura della densità della sospensione di suolo ed acqua calcolata in tempi diversi. Il materiale necessario è:

- 1 campione di terreno
- una bilancia
- un recipiente trasparente con apertura larga
- un righello

I passaggi del procedimento sono:

1. Con la pala, scavare una determinata quantità di terra.
2. Pesare la quantità di terra con la bilancia.
3. Una volta avuto il peso della terra che verrà impiegata nell'esperimento, prendere l'acqua pari a tre volte il peso della terra (il rapporto in peso tra terra e acqua deve essere 1:3).
4. Versare la terra nel recipiente.
5. Versare l'acqua nel recipiente.
6. Agitare con forza il recipiente per 5 minuti (come "centrifuga manuale").
7. Lasciare sedimentare il miscuglio nel recipiente e osservare.



Figura 10 – Immagini della progressiva sedimentazione della sospensione di suolo e acqua. Da sinistra: sospensione di suolo e acqua appena agitato, sedimentazione dopo 30 min, sedimentazione dopo 24 h.

La terra si è divisa in strati di granulometrie diverse. Questi strati sono determinati dalle diverse frazioni minerali che compongono il suolo.

Attraverso questa immagine esempio si possono osservare le varie composizioni del suolo considerando degli intervalli granulometrici.

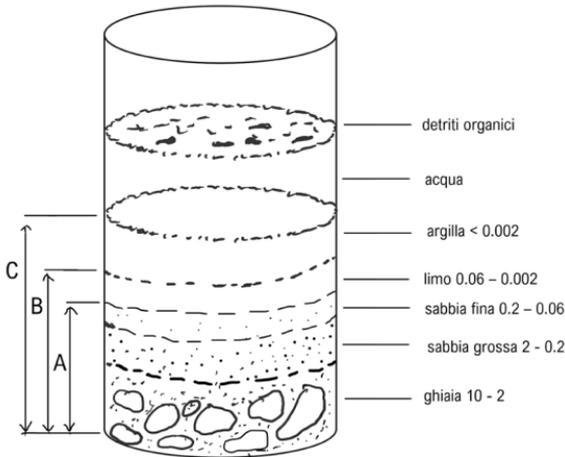


Figura 11 – Rappresentazione della sedimentazione delle diverse frazioni del suolo.

Per osservare quindi la composizione del nostro suolo utilizziamo il righello. Si dovrà misurare lo spessore dello strato di suolo per poi moltiplicarlo per l'area del recipiente (in questo caso una comune bottiglia di plastica da 1,5 L). Confrontando i vari volumi parziali per quello totale si otterranno le varie composizioni in percentuale.

Utilizzando i dati presenti nella tabella sottostante è possibile con un righello determinare la percentuale della composizione del terreno: gli intervalli granulometrici sono in mm.

Materiale	Altezza (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Percentuale
Ghiaia	2,0	100	43%
Sabbia grossa	0,5	25	11%
Sabbia fina	0,3	15	6,5%
Limo	0,3	15	6,5%
Argilla	1,5	75	33%

Le quantità percentuali di sabbia, limo e argilla una volta inserite nel triangolo della tessitura permettono di attribuire la classe tessiturale al suolo analizzato.

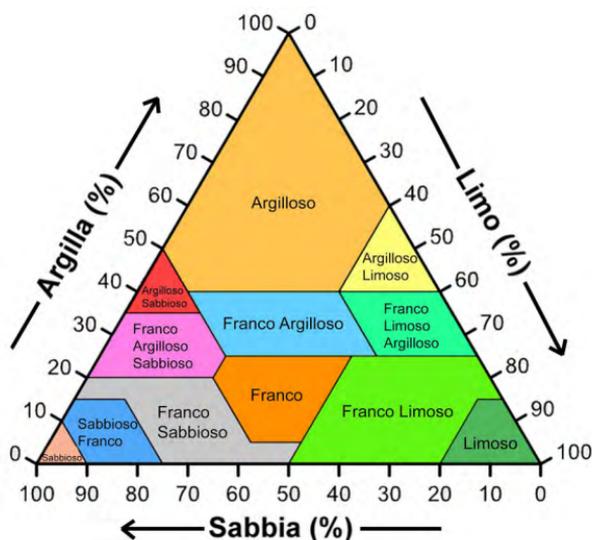


Figura 12 – Triangolo della tessitura con le 12 classi tessiturali.

La determinazione della tessitura può essere fatta anche in campo bagnando il terreno e manipolandolo. Dalle sensazioni tattili che si riscontrano si possono de-

finire in maniera approssimativa le percentuali di sabbia, limo e argilla.

Il procedimento consiste di più fasi:

**PUNTO 1.**

Prendere parte del campione di suolo (un cucchiaino pieno), inumidirlo con l'acqua (durante l'intero procedimento inumidire di tanto in tanto), manipolare fino a ottenere un impasto plastico e viscoso. Eliminare frammenti in eccesso più grandi di due millimetri.

**PUNTO 2.**

Quale sensazione ti dà al tatto il suolo?

- a) granuloso – vai al PUNTO 3
- b) setoso – vai al PUNTO 5
- c) appiccicoso – vai al PUNTO 10
- d) pastoso – vai al PUNTO 5
- e) nessuna di queste o sei incerto – vai al PUNTO 3

**PUNTO 3.**

Cerca di fare una pallina di suolo rotolandola tra i palmi delle mani (senza modellarla tra le dita):

- a) è impossibile da fare – SABBIA
- b) ci riesco facendo molta attenzione – SABBIOSO FRANCO
- c) ci riesco facilmente – vai al PUNTO 4

**PUNTO 4.**

Cerca di schiacciare la pallina tra pollice e indice:

- a) è impossibile da fare – FRANCO SABBIOSO
- b) si appiattisce – vai al PUNTO 5

**PUNTO 5.**

Fai una pallina con il terreno cercando poi di ricavare un cilindretto allungato prima più grande (circa 1 cm di diametro) e poi più sottile (circa 0,5 cm):

- a) non riesco a fare nemmeno un cilindretto – SAB-  
BIOSO FRANCO
- b) riesco a formare solo il cilindretto grande – FRAN-  
CO SABBIOSO
- c) entrambi i cilindretti ci possono formare – vai al  
PUNTO 6

**PUNTO 6.**

Prova a piegare il cilindretto ottenuto a forma di ferro di cavallo:

- a) il cilindretto si rompe – vai al PUNTO 7
- b) il ferro di cavallo si forma senza rompersi – vai al  
PUNTO 8

**PUNTO 7.**

Manipolando il suolo tra le dita quale sensazione ti da?

- a) il suolo è ruvido e granuloso – FRANCO
- b) il suolo è setoso – FRANCO LIMOSO O LIMO
- c) il suolo è appiccicoso, ruvido e granuloso – vai al  
PUNTO 8

**PUNTO 8.**

Crea un cilindretto di circa 0,3 cm di diametro cercando di trasformarlo in un cerchio di circa 2,5 cm di diametro unendo le due estremità del cilindretto, senza che si formino delle fratture:

- a) riesco a farlo – vai al PUNTO 9
- b) non riesco – vai al PUNTO 11

**PUNTO 9.**

Modella il terreno a formando una pallina strofinandola tra l'indice ed il pollice, fino a produrre una superficie liscia:

- a) la superficie si presenta liscia con qualche irregolarità – vai al PUNTO 11
- b) la superficie è regolare ma sporgono particelle

granulose – ARGILLOSO SABBIOSO

- c) la superficie presenta pochissime o nessuna irregolarità – vai al PUNTO 10

**PUNTO 10.**

Continua manipolando il suolo tra le dita, e dai un giudizio al tatto e alla vista:

- a) il campione è liscio come sapone ed ha lucentezza – ARGILLA  
 b) il campione è setoso e opaco – ARGILLOSO LIMOSO

**PUNTO 11.**

Forma per l'ultima volta una pallina manipolandola tra le dita, giudicando la condizione generale del composto al tatto:

- a) il suolo risulta molto ruvido – FRANCO SABBIOSO ARGILLOSO  
 b) il suolo risulta abbastanza ruvido – FRANCO ARGILLOSO  
 c) il suolo risulta pastoso e liscio – FRANCO ARGILLOSO LIMOSO

**CAMPIONE 1**

Punto 1

Punto 2: al tatto pastoso

Punto 5: entrambi i cilindretti si possono formare

Punto 6: se piegato a ferro di cavallo, il cilindretto si rompe

Punto 7: Il suolo è ruvido e granuloso, è FRANCO

**CAMPIONE 2**

Punto 1

Punto 2: al tatto appiccicoso

Punto 10: il campione è liscio come sapone ed ha lucentezza è ARGILLA

#### Attività 4. Ma ...chi vive nel Suolo?

Proponiamo agli studenti di scoprire...chi vive nel Suolo.

Basta avere una lente di ingrandimento, un microscopio ottico ed uno stereoscopico; è più di una caccia al tesoro.

Tutti gli organismi che vivono nel sottosuolo sono indicati con il termine *pedofauna* e hanno grande importanza per quattro aspetti principali:

- intervengono nello sviluppo del suolo.
- causano danni alle piante o le proteggono da altri parassiti.
- prendono parte alla decomposizione delle sostanze organiche.

Il sottosuolo è occupato da:

- vertebrati (mammiferi); invertebrati (artropodi, anellidi, molluschi); microrganismi (batteri, protozoi);
- apparati radicali delle piante.



Figura 13 – I lombrichi (anellidi), protagonisti della pedofauna edafica.

A questo punto, gli studenti possono osservare le radici delle piante erbacee che vivono nel terreno raccolto e annotarne le varie forme.

Come si vede dall'immagine seguente esistono diverse forme, ad esempio, di radici arboree, alcune sviluppate maggiormente in verticale, altre in orizzontale.



Figura 14 – Diverse tipologie di apparati radicali.

Le radici svolgono un ruolo importantissimo nel suolo. La radice, grazie alle sue attività di assorbimento e di rilascio di specie inorganiche e organiche, può modificare le caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche della rizosfera e questi cambiamenti possono favorire l'adattamento delle piante alle avversità.

### **Attività 5. Come misurare il pH del terreno**

Il **pH** è definito come una scala di misura utilizzata per esprimere il carattere acido o basico delle soluzioni.

Il livello di pH del terreno influenza direttamente la capacità delle piante di assorbire gli elementi nutritivi necessari; è dunque molto importante misurare il pH del terreno.

Il pH del terreno viene misurato per via elettrochimica con la sonda del pH-metro.

Il materiale necessario comprende:

- Terreno
- pH-metro
- acqua distillata

L'attività si svolge come segue:

- a) Scava una buca profonda almeno 10 cm.
- b) Smuovi il terreno e rimuovi i detriti.
- c) Riempi la buca con acqua distillata, creando una pozzanghera.
- d) Inserisci la sonda del pH-metro virgola dopo esserti assicurato che sia ben pulita è correttamente calibrata.
- e) Lascia la sonda inserita per 60 secondi e poi leggi i risultati.

Vediamo riportati i risultati sul monitor della sonda del pH-metro. Leggendo i risultati sul dispositivo riusciremo a intuire grazie alla scala graduata del pH qual è il pH del nostro terreno. Con questo sistema la misurazione viene effettuata direttamente nella buca.

Il pH del terreno può essere misurato anche con la cartina tornasole. Il materiale necessario comprende:



Figura 15 - pH-metro portatile.

- 100gr di terreno di 5 prelievi
- Contenitore di vetro con tappo
- Cartina tornasole
- 250ml di acqua distillata



Figura 16 – Misura del pH del suolo con indicatore o con cartine tornasole.

Il procedimento prevede i seguenti passaggi:

- a) Effettua quattro o 5 prelievi di terra.
- b) i prelievi devono essere effettuati in punti diversi dell'orto.
- c) la terra deve essere presa da almeno 20 cm di profondità.
- d) i vari campioncini devono essere poi miscelati in un campione unico che andrà setacciato.
- e) metti sia l'acqua sia il campione di terreno all'interno del tuo contenitore in vetro, e mescola per almeno 15 minuti.
- f) Chiudi con il poi il barattolo e lascia riposare il tutto per mezz'ora.
- g) Immergi la cartina tornasole all'interno della soluzione.

h) Segui le istruzioni per vedere a quale pH corrisponde il colore assunto dalla tua cartina.

Confrontiamo il colore della cartina tornasole con la tabella che viene fornita nella confezione

### **Attività 6. Determinazione dei carbonati nel Suolo: scoperta e importanza fondamentale**

Per comprendere la grande importanza di questo aspetto del Suolo, occorre fare una lunga premessa riguardante alcuni concetti fondamentali della chimica inorganica. Per invece capirne l'importanza nel nostro territorio, sono utili alcune premesse molto interessanti relative alla geomorfologia e geologia del Veneto e di tutte le zone calcaree.

Potremmo definire il carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) che troviamo nel suolo come l'elisir di lunga vita delle piante, purché sia presente in quantità adeguate. Lo troviamo in molte aree, come ad esempio la zona triveneta nel nord Italia, conosciuta per la sua grande fertilità. Questa regione è caratterizzata dalla presenza di molte rocce carbonatiche. Un esempio particolare è la dolomia, presente nelle dolomiti, oltre a molte altre rocce calcaree in generale, sia clastiche che organogene che di deposito chimico. Nel tempo queste rocce tendono a degradarsi, fino a trasformarsi in terra; successivamente il suolo che si forma viene trasportato attraverso fiumi dalle catene montuose fino in pianura, dove il suolo si accumula (formazione della pianura padana). Questo processo di traslocazione arricchisce di carbonati la pianura veneta.

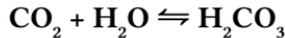
I vari processi di trasformazione a cui si è sottoposta la dolomia (e molti altri minerali presenti) sono:

1. Idratazione/disidratazione
2. (Ossidazione)
3. Idrolisi

4. Chelazione
5. Scambio ionico
6. Solubilizzazione

Il carbonato ha diverse caratteristiche, importanti per la vita del suolo:

1. è tanto più solubile se l'acqua è ricca di  $\text{CO}_2$  disciolta.



2. aumenta la sua solubilità a temperature basse (a differenza, ad esempio, di NaCl che solubilizza a temperature calde) proprio perché l'anidride carbonica solubilizza meglio a temperature fredde.

Troviamo il carbonato nel suolo come precipitato (stato solido nel suolo) nei casi in cui:

- l'acqua presente nel terreno è meno ricca di  $\text{CO}_2$ .
- la temperatura è alta ( $\text{CO}_2$  fa più difficoltà a solubilizzarsi).
- negli strati più profondi, perché vi è meno attività biologica (le radici non raggiungono quell'orizzonte) quindi meno  $\text{CO}_2$ .
- in condizioni di alcalinità, dunque pH lievemente basico (prevalenza  $\text{OH}^-$  su  $\text{H}^+$  in acqua).

Troviamo il carbonato nel suolo in soluzione (sciolto nell'acqua) nel caso in cui:

- l'acqua è più ricca di  $\text{CO}_2$  (anche nel caso in cui ci fosse evaporazione dell'acqua con conseguente aumento della concentrazione di  $\text{CO}_2$ ).
- la temperatura è bassa (più solubilizzazione).
- negli strati più superficiali, dove c'è più attività microbica.
- in condizioni di acidità (concentrazione  $\text{H}^+$  prevale su  $\text{OH}^-$ ).

In soluzione il carbonato sciolto può essere spostato dal flusso dell'acqua più in profondità lungo il profilo di suolo (eluviazione), rendendo gli strati vicini alla superficie

più poveri di carbonati; processo conosciuto con il nome di decarbonatazione.

Il carbonato quindi si accumula negli orizzonti più bassi del suolo (illuviazione, nello specifico carbonatazione) creando degli strati compatti e cementati di carbonati, chiamati **caranto**, che spiegheremo più avanti.

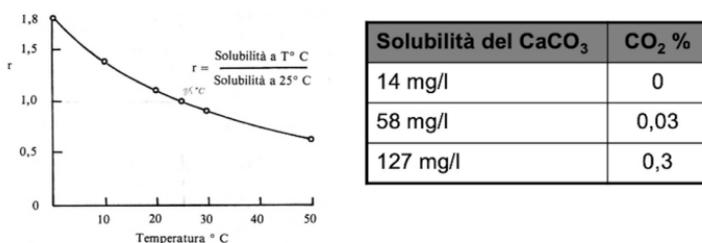
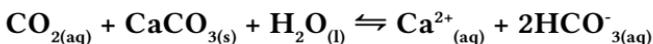


Figura 17 – Variazione della solubilità del carbonato di calcio al variare della temperatura e della % di CO<sub>2</sub> (Arkley, 1963).

### Sistema tampone

Il sistema tampone è un sistema chimico che tende a opporsi alle variazioni di pH. Le piante vivono più favorevolmente in una situazione di alcalinità: ioni OH<sup>-</sup> prevalgono su ioni H<sup>+</sup> dunque è una situazione di pH maggiore di 7.



Questa è la reazione secondo cui si dissocia la calcite in acqua; l'aggiunta di OH<sup>-</sup> nel sistema in equilibrio provoca la dissociazione del bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) a carbonato che precipita, viceversa l'aggiunta di H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> favorisce la solubilizzazione del carbonato, come accennato prima (*carbonato precipitato o in soluzione*).

Quindi quando aumenta OH<sup>-</sup>, (o diminuisce la concentrazione di H<sup>+</sup>) ovvero aumenta la basicità del suo-

lo, il carbonato precipita mantenendo il pH lievemente basico, al contrario se vi è un eccesso di  $H^+$  il carbonato si dissocia, mettendo in atto un processo di idrolisi. Infatti, lo ione bicarbonato formatosi in seguito alla dissociazione del sale in acqua si comporta da base di Lewis strappando un protone all'acqua.

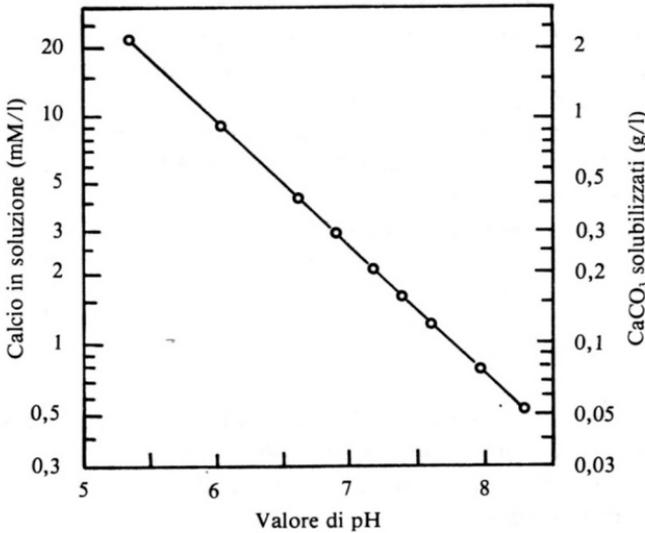


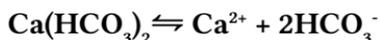
Figura 18 – Variazione della solubilità del carbonato al variare del pH (Arkley, 1963).

### Breve spiegazione della idrolisi salina: interazione tra sali e acqua.

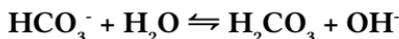
Se sciogliamo in acqua un sale, si può ottenere una soluzione basica, neutra o acida a seconda della natura degli ioni in cui si dissocia il sale.

Se consideriamo il bicarbonato di calcio ( $Ca(HCO_3)_2$ ) si parla di idrolisi basica. Questo sale è proveniente da un acido debole ( $H_2CO_3$ ) e da una base forte ( $Ca(OH)_2$ ).

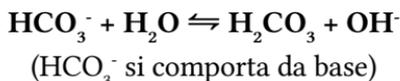
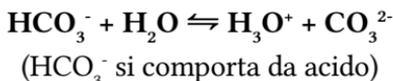
Quando si dissocia in acqua in questo modo:



lo ione  $\text{Ca}^{2+}$  derivante da una base forte non ha nessuna tendenza a reagire con l'acqua (tende a dissociarsi completamente) mentre lo ione bicarbonato reagisce, mantenendo un equilibrio:



quindi per eccesso di ioni  $\text{OH}^-$  la soluzione diventa basica. Lo ione bicarbonato è una specie anfiprotica, allo stesso modo dell'acqua: può infatti comportarsi sia da acido che da base donando o accettando uno ione  $\text{H}^+$ . Pertanto, tra acqua e ione bicarbonato possiamo scrivere entrambe le reazioni:



Tali reazioni sono reazioni di equilibrio, a ciascuna delle quali corrisponde un ben determinato valore di costante:

1.  $K_a$  di  $\text{HCO}_3^-$  nel caso del comportamento da acido
2.  $K_b$  di  $\text{HCO}_3^-$  nel caso del comportamento da base.

Delle due reazioni prevale quella a cui corrisponde il maggior valore della costante di equilibrio; infatti, tanto più alto è il valore della costante e tanto più l'equilibrio è spostato a destra, cioè verso i prodotti.

Non ci resta che confrontare i valori delle due costanti:

$$K_a \text{ HCO}_3^- = 4,4 \times 10^{-11}$$

$$K_b \text{ HCO}_3^- = K_w / K_a \text{ H}_2\text{CO}_3 = 10^{-14} / 4,6 \times 10^{-7} = 2,2 \times 10^{-8}$$

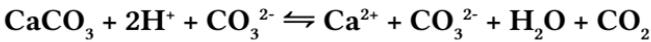
Come possiamo notare, la seconda costante è circa 1000 volte più grande dell'altra, e proprio per questo il comportamento basico dello ione bicarbonato prevale nettamente sul comportamento acido.

Ecco perché una soluzione di bicarbonato di sodio ha pH basico.

Il suo valore si calcola con la seguente relazione:

$$\text{pH} = \frac{1}{2}(\text{pKa H}_2\text{CO}_3 + \text{pKa HCO}_3^-) = 8,5$$

Un altro metodo più semplice è ragionando su questa reazione:



### Fiumi del veneto: aspetto geomorfologico

Nella zona del triveneto, come già accennato, la presenza di carbonati è notevole.



Figura 19 – Bacini deposizionali del Veneto (Fonte: ARPAV).

Questo si vede andando ad analizzare la quantità di carbonato nei fiumi che tagliano l'area veneta: i fiumi raccolgono e trasportano il carbonato sciolto, che ricevono dai bacini deposizionali confinanti (le quattro aree colorate sulla mappa in alto a sinistra).

Andando a rilevare il contenuto di carbonati nei fiumi ricaviamo la quantità di  $\text{CaCO}_3$  presente nei bacini circostanti.

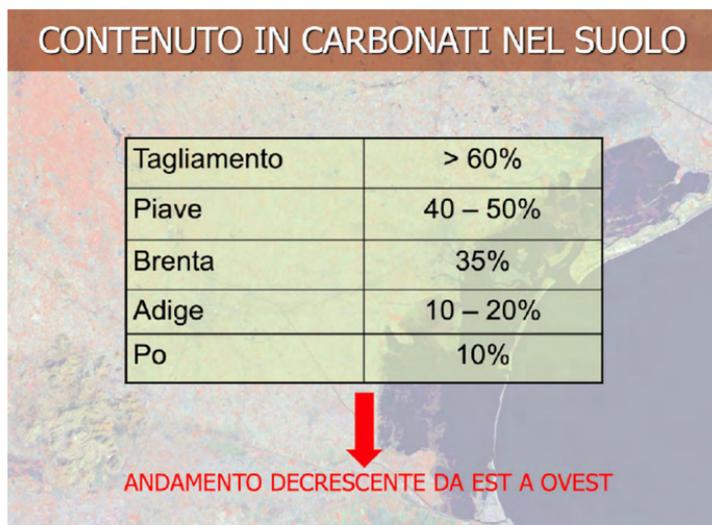


Figura 20 – Contenuto di carbonati nei principali fiumi del Veneto (Fonte: ARPAV).

I dati ci mostrano che nei bacini più a est c'è una maggiore quantità di carbonato traslocato dalle montagne fino ai bacini, rispetto a ovest, dove la quantità di carbonato è minore.

A est vediamo che la percentuale di carbonato supera addirittura il 60%; questo fatto interessante ci servirà nel prossimo argomento.

## Caranto e la nascita di Venezia

Il carbonato di calcio ha avuto un ruolo importantissimo anche dal punto di vista storico, soprattutto qui, nel Veneto. Spesso ci è capitato di vedere pezzi di legno marcire se lasciati in acqua o nella terra per molto tempo (principalmente per la degradazione compiuta da insetti e funghi xilofagi). Eppure, la famosa città di Venezia, completamente costruita su vulnerabili palafitte di legno infilate in acqua e nel terreno, secondo le nostre osservazioni dovrebbe essere distrutta da un pezzo, mangiata da funghi. Non sarebbe quindi mai esistita quella potentissima repubblica che a lungo ha dominato mari e terre, e che oggi è una delle meraviglie architettoniche più particolari e affascinanti del pianeta, meta di viaggio per turisti da tutto il mondo.

Perché questa degradazione del legno non è successa e non succede tuttora?

Il segreto è proprio il carbonato di calcio, presente nel caranto.

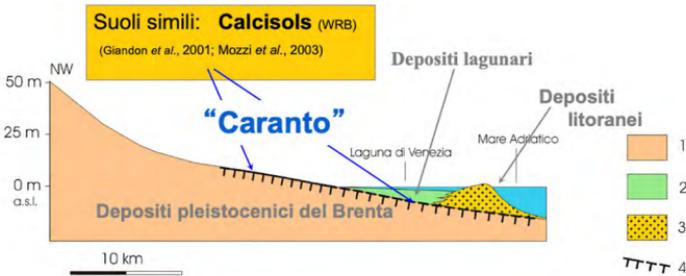


Figura 21 – Profilo stratigrafico attraverso il megafan di Bassano e la laguna centrale.

Venezia, per sua fortuna, è situata sopra un grande basamento di caranto, dove si è depositato  $\text{CaCO}_3$  fino ad addirittura 20 metri di profondità; come abbiamo visto prima osservando i bacini deposizionali, l'area dove si trova

Venezia è ricchissima di questo composto. Il carbonato ad-densato crea uno strato molto duro, anaerobico, che im-pedisce ai batteri di attaccare i basamenti infilati in esso. Inoltre, il carbonato presente, rendendo l'ambiente più al-calino (pH 8,35), impedisce ai batteri di vivere nel caranto e nel mare, dato che il loro habitat naturale è a pH neutro.

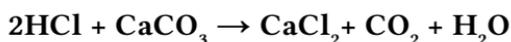
### **Verifica della presenza di calcare su un campione roccioso**

Il metodo consiste nel far cadere alcune gocce di aci-do cloridrico (diluizione 1:10) sul campione roccioso.



Figura 22 – Aggiunta di acido cloridrico al campione e attac-co acido del carbonato.

La superficie del campione fa effervescenza. Questo si può sia udire sia vedere (se è facilmente udibile, il campione sarà calcareo per oltre il 10%). Concludiamo che la pietra analizzata è calcarea.



### **Il calcimetro di Scheibler**

Per determinare il contenuto totale di calcare presen-te nel terreno, si misura il volume di  $\text{CO}_2$  che si sviluppa

quando si tratta un determinato peso di suolo con HCl. Per contenuto totale di calcare si intende la totalità dei calcari di Ca, Mg, Na,...presenti nel terreno.

Il materiale necessario è il seguente:

- Calcimetro di Scheibler
- Soluzione diluita di HCl
- Campioni di terra fine

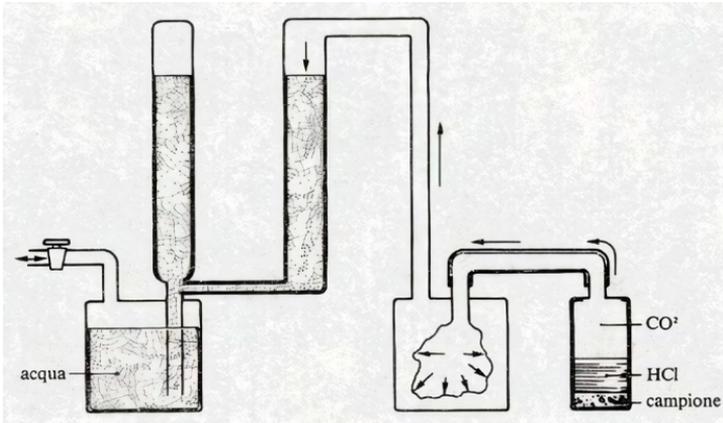


Figura 23 – Schema del calcimetro.

Il procedimento consiste nei seguenti passaggi:

1. Inserire la provetta con 10 ml di HCl in una boccetta più grande dove è posto il terreno e adattarla al calcimetro con l'apposito tappo
2. Azzerare l'apparecchio eguagliando la pressione interna a quella esterna attraverso il rubinetto
3. Chiudere quest'ultimo e far sviluppare CO<sub>2</sub> inclinando la boccetta in modo che HCl venga a contatto con il terreno
4. La CO<sub>2</sub> sviluppata fa abbassare il livello dell'H<sub>2</sub>O nel tubo graduato
5. Provocare una leggera depressione abbassando il tubo di livello

6. Agitare la boccetta fino allo sviluppo completo di  $\text{CO}_2$
7. Eguagliare pressione esterna e interna
8. Dopo qualche minuto, procedere alla lettura gas-volumetrica.

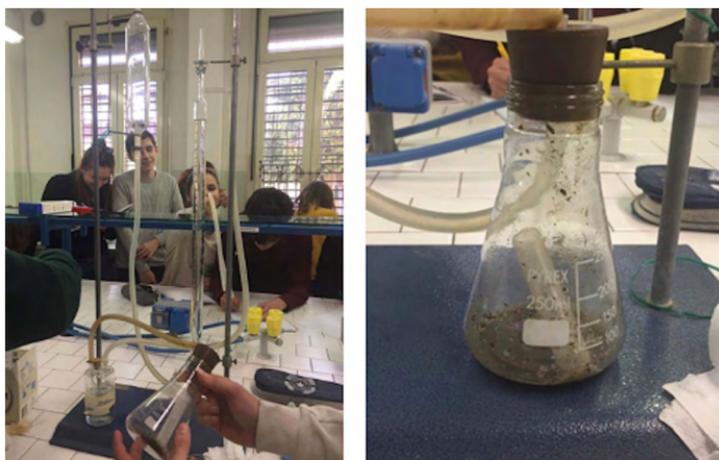


Figura 24 - Determinazione del carbonato totale in laboratorio.

Un terreno si ritiene calcareo, generalmente, quando contiene più del 15% di calcare ( $\text{CaCO}_3$ ).

*Perché il carbonato è così importante?*

La maggior parte delle piante predilige terreni principalmente neutri o debolmente alcalini (pH tra 7,5 e 8,5), ma il suolo, a causa dei fertilizzanti e della carenza di sostanza organica, può facilmente trovarsi in condizioni di acidità. Ecco che entra in gioco il carbonato di calcio, che riesce a limitare notevolmente il cambio di pH nel terreno, agendo come sistema tampone; in questo modo riesce a mantenere le condizioni ottimali per la crescita delle piante.

Dopo questo ciclo di attività sperimentali, è importante riassumere gli aspetti fondamentali del Suolo.

### ...il Suolo in breve:

1. I suoli sono sistemi naturali derivanti da processi di alterazione chimica, fisica e biologica (weathering) a carico della superficie terrestre. Il suolo poggia sulla roccia madre, non disgregata.

2. I suoli sono sistemi eterogenei complessi (dotati di una componente organica, una inorganica e biologica), porosi, multifase (per la presenza di una fase solida, liquida, gassosa), che generano e sostengono la vita del nostro pianeta.

3. I suoli sono dei sistemi biologici complessi e diversificati, che servono da habitat a milioni di specie e miliardi di singoli organismi, da microscopici batteri e funghi fino a macroscopici lombrichi, formiche e piccoli mammiferi, nell'insieme vegetali e animali.

4. Dal punto di vista chimico i suoli scambiano sia materia che energia con gli altri comparti ambientali ovvero atmosfera, litosfera, idrosfera e biosfera. Tali flussi influenzano sia le proprietà fisiche che chimiche del suolo.

5. I suoli costituiscono **un bene primario e una risorsa non rinnovabile**. I processi di formazione del suolo sono molto lenti e avvengono in tempi estremamente lunghi che sono in funzione del clima, della profondità del profilo, della topografia e della componente biotica (costituita da organismi animali e vegetali che si possono considerare come appartenenti a tre diverse categorie: i produttori primari, i consumatori e i decompositori).

6. I suoli differiscono dalle semplici rocce alterate poiché mostrano una stratificazione verticale con orizzonti facilmente distinguibili per colore, composizione e tessitura e perché contengono una componente biologica di straordinaria varietà e che permette lo sviluppo delle piante e degli animali, dell'Uomo.

Il suolo costituisce, dunque, la **base per l'alimentazione di tutta l'Umanità!**

I Suoli sono **un bene primario** da studiare e salvaguardare.

## **Conclusioni e Collegamenti interdisciplinari**

Abbiamo dimostrato che queste 6 attività sperimentali sono fattibili, molto significative per i ragazzi, con coinvolgimento affettivo e psicologico. Sono importanti per capire un po' la complessità e straordinarietà del Suolo.

Abbiamo inoltre capito che il Suolo è il nostro bene primario, non ripristinabile, e quindi molto importante da conoscere, da conservare per non esaurirne le potenzialità (agrarie, forestali,...).

Dopo queste attività sperimentali, passiamo ora ai collegamenti con le altre discipline.

Le tematiche dell'Agenda 2030, per lo sviluppo sostenibile a livello locale e globale. Questi argomenti importanti si inseriscono facilmente nei programmi scolastici, anzi, ne facilitano la comprensione e abitano i ragazzi alla osservazione e li introducono alla ricerca sperimentale; inoltre li abitano a studiare gli ecosistemi dai vari punti di vista: chimico- fisico- biologico- geologico. Questo percorso fornisce le competenze e le conoscenze indispensabili per affrontare gli obiettivi culturali dell'Agenda 2030, per uno sviluppo sostenibile, che è stata inserita nel curriculum di Educazione civica da un paio di anni in tutte le scuole, e a carico ovviamente dell'insegnamento delle Scienze naturali e delle altre discipline. Citiamo in particolare gli Obiettivi dell'Agenda n. 1, 2, 3, 6, 8, 12, 13, 15, 17.

Lo scopo è di rendere gli studenti consapevoli e responsabili in un mondo moderno.

Facciamo l'esempio dello sfruttamento eccessivo e indiscriminato di Suolo con fitofarmaci eccessivi, usati nell'a-

gricoltura intensiva odierna. Si è dimostrato che produce un impoverimento del Suolo, con conseguente perdita di fertilità e scarsità di raccolti, dovuti al fatto che i fitofarmaci a lungo andare distruggono la sostanza organica del terreno, struttura fondamentale per la vita del Suolo.



Figura 25 – Obiettivi per lo sviluppo sostenibile Agenda 2030 (firmata da 193 paesi ONU nel settembre 2015).

Con questo esempio abbiamo dimostrato la connessione tra i seguenti obiettivi dell’Agenda 2030:

- 12 “consumo e produzione responsabile,
- “fame nel mondo”,
- “povertà e disuguaglianze sociali”,
- “lavoro dignitoso”,
- “la Vita sulla Terra”.

In sintesi: la difesa della Vita Umana ...nello sviluppo sostenibile.

Nell’art.1 della legge regionale n.14 del 6-6-201 leggiamo che “il Suolo, risorsa limitata e non rinnovabile, è bene comune di fondamentale importanza per la qualità della Vita delle generazioni attuali e future, per la salvaguardia della salute, per l’equilibrio ambientale e per la tutela degli ecosistemi naturali, nonché per la produzione agricola finalizzata non solo all’alimentazione, ma anche ad una insostituibile funzione di salvaguardia del territorio.”





Figure 26, 27, 28 – Dal lavoro nel campo di rotazione storica ad Agripolis (Legnaro PD) al laboratorio di chimica della scuola.

## Ringraziamenti

Ringraziamo prima di tutto gli studenti che per primi nella nostra scuola hanno iniziato a lavorare sul Suolo e a selezionare gli esperimenti più significativi, nonché a farne delle schede di laboratorio facili da utilizzare, in particolare le classi 3B e 2BSA dell'anno sc. 2020-21; ma prima ancora la classe 4F nel 2017-18, con 80 ore di PCTO al dipartimento DAFNAE coinvolgendo anche i proff. Andrea Squartini e Piergiorgio Stevanato. In queste 80 ore circa, gli studenti hanno lavorato sul Suolo sia nei laboratori che nei campi di Agripolis (vedi rotazione storica nelle foto) sia nei laboratori del nostro Liceo per l'analisi delle caratteristiche del Suolo, bene primario per l'alimentazione dell'umanità. Il lavoro si è concluso nella redazione del libro "*...alla scoperta del Suolo...*" che racconta l'esperienza nei dettagli e i risultati ottenuti.

Infine, ringrazio mio figlio Francesco Laveder per l'impostazione del lavoro e la stesura redazionale, assieme a

Marina L. Regni, costante negli incoraggiamenti a portare a termine, con i ragazzi, la stesura di tutte le attività, nonché le colleghe Nicole Schmidt e Angela Zennaro per la preziosa collaborazione.

## Bibliografia

- Fritjof Capra, *La rete della vita*, Rizzoli, Milano 1997
- C. Ciavatta, T. Miano, P. Sequi, *Fondamenti di chimica del suolo*. Patron Editore, Bologna 2017.
- M. Crippa, M. Fiorani, et all, *Scienze naturali*, I, Arnoldo Mondadori, 2013.
- S.Nardi, *Sintesi e trasformazione della sostanza organica nel profilo del suolo*. In: *Elementi di pedologia*, Sanesi Ed. Calderoni Ed agricole, pp. 123-132, 2000
- S.Nardi e D.Pizzeghello *Attività biologica delle sostanze umiche*. In: *Humus Forestali. Manuale di ecologia per il riconoscimento e l'interpretazione – applicazione alle faggete trentine – A cura di: Zanella, Tomasi, De Siena, Frizzera, Jabiol e Nicolini*. Edizioni Centro di Ecologia Alpina – Trento , 2001
- S. Nardi, *proprietà ed evoluzione della sostanza organica nel suolo: aspetti generali*, Corte Benedettina 4- 11-2004
- S.Nardi e D.Pizzeghello, *I suoli forestali*. In : *Fondamenti di Chimica del Suolo*. P. Sequi (Ed.), Patron, Bologna, pp. 319-340 - 2005
- G. Sanesi, *Guida alla descrizione del suolo*. C.N.R., Firenze, 1977.
- G. Florenzano, *Fondamenti di microbiologia del terreno*. Reda, 1984.
- Alla scoperta del Suolo*, classe 4F Liceo scientifico statale E. Fermi, Padova 2017-2018
- Il corriere di 2B ed. straord, la scuola al tempo della Didattica a distanza*, Liceo sc. statale Fermi, Pd '19-'20
- Il giardino del Fermi oltre il Liceo*, a cura di N. Schmidt, Padova 2018-2019.
- E.L. Palmieri, M. Parotto, #Terra - *Il nostro pianeta, La geodinamica esogena*. Zanichelli, 2018.

- AA.VV., *Il libro della terra- Linea blu con chimica*. A. Mondadori Scuola, 2018.
- AA.VV., *Carta dei suoli del Veneto*. Servizio osservatorio suoli e rifiuti-Dipartimento Prov.Treviso, 2005.
- G. Astolfi, F. Colombara, *La Geologia dei Colli Euganei*. Canova, 2003
- AA. VV., *Dalla carta topografica al paesaggio. Atlante Ragionato*. ZetaBeta, 2004
- N. Armaroli, V. Balzani, *Energia per l'astronave Terra*. Zanichelli, 2017
- Le figure 17 e 18 sulla relazione esistente tra la solubilità del  $\text{CaCO}_3$  e il valore del pH e della temperatura vengono dalla seguente pubblicazione: Arkley, R.J. (1963) Calculation of Carbonate and Water Movement in Soil from Climatic Data. *Soil Science*, 96, 239-248.
- La figura 21 sul profilo stratigrafico attraverso il megafan di Bassano e la laguna centrale proviene dalle seguenti pubblicazioni: - Giandon P., Ragazzi F., Vinci I., Fantinato L., Garlato A., Mozzi P., Bozzo G.P. (2001). La carta dei suoli del bacino scolante in laguna di Venezia. *Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo* 50:273-280. - Mozzi P., Bini C., Zilocchi L., Becattini R., Mariotti Lippi M. (2003). Stratigraphy, paleopedology and palinology of Late Pleistocene and Holocene deposits in the landward sector of the Lagoon of Venice (Italy), in relation to the "caranto" level. *Il Quaternario* 16(1bis):193-210.

## Sitografia

<http://www.pedologiasipe.it/>

<http://www.progettogea.com/gea/ambiente/schede/stato-pianeta/3terra/strati-suolo.htm>

<http://www.chimicare.org/curiosita/la-chimica-delle-piante/da-cosa-e-fatto-lhumus-formazione-e-proprietà-della-sostanza-organica-nel-terreno/>



## 9. Should atoms be put first in teaching general chemistry and if so how?

*Eric Scerri*

Department of Chemistry and Biochemistry UCLA, USA

Chemical education has been in a state of flux for many years, with many competing suggestions and programs for how the subject can be made more appealing and relevant to student. In this article I would like to concentrate on one recent development, the atoms first approach (AA) which I believe contains many useful suggestions but also falls short in some respects that I intend to outline.

The first article devoted to the AA approach that I have been able to find in the *Journal of Chemical Education* dates from 2013 (Esterling, 2013). This was followed by a couple of other articles that contain the words “atoms first” in their titles (Chitiyo, 2018). This situation is a little surprising given that a far larger number of chemistry textbooks with “atoms first” in the title, or subtitle, that are now available (McMurry, 2010,

Zumdahl, 2012, Burdge, 2014, Gilbert, 2015, Gilbert, 2018, Tro, 2014, Zumdahl, 2016).

I believe that the most positive aspect of the AA approach may be its highlighting of what is wrong with any traditional or standard approach to the teaching of chemistry (SA) rather than the notion of atoms first itself. Proponents of AA point out that standard approaches are rather disjointed presenting a number of apparently disconnected topics at the start of a chemistry course. These topics include such things as the classification of matter, the difference between chemical and physical changes, accuracy and precision, significant figures, dimensional analysis, types of reactions and most tedious of all, stoichiometric calculations. All these issues are generally dealt with before even starting to discuss atoms and molecules. Proponents of AA prefer to start with subatomic particles, the periodic table and atomic weights.

The same proponents believe that their approach makes for less disjointedness which also makes perfectly reasonable sense. However, such an approach seriously relegates the role of the historical development of the field of chemistry. It also risks degenerating into to a form of naive reductionism, whereby chemistry is taught as though it was nothing but physics and or that understanding atoms and molecules leads to a complete understanding of chemistry (Scerri, McIntyre, 1997). Whereas the philosophy of chemistry has rejected the notion of reductionism, especially of this more blatant form, this has not been the case in the field of chemical education.

Without wishing to deny the tremendous benefits that physics of the 20<sup>th</sup> century has brought to the study of chemistry, it is essential to maintain contact with

the fact that most branches of chemistry are concerned with macroscopic phenomena and not the microscopic components that make up chemical substances. Consequently, placing too much emphasis on the reducing science of physics may misrepresent the nature of chemistry.

### **What is an alternative to AA that retains some of its recommendations?**

As I suggested above, one of the drawbacks of current atoms first approaches is that they tend to be ahistorical. What I propose is atoms first but presented as a historical development, beginning with the laws of chemical combination that were discovered in the 18<sup>th</sup> century before moving to Dalton's atomic theory of the early 1800s which provided an explanation for them<sup>1</sup>.

Dalton's notion of atomic weight then provides a natural entry point into a section on the discovery of the periodic table. As is well known, it was only when atomic weights became rationalized at the Karlsruhe conference, and through Cannizaro's intervention, that it became possible to order the elements effectively and to see how their properties recurred approximately after certain definite intervals or periods (Scerri, 2019).

I believe that a reasonably in-depth introduction to the periodic table of the elements should be presented without any mention of electrons or atoms or ions, as far as possible. There are many reasons why the periodic table can serve as one of the starting point to a chemistry course. First of all, it is without doubt the central

---

<sup>1</sup> I am referring to the laws of conservation of mass, of constant composition and of multiple proportion. The last of these was a prediction made by Dalton, which was later verified experimentally.

paradigm of modern chemistry, that serves to organize the entire discipline. Secondly, the periodic table has become something of a cultural icon which means that it is already familiar to students, including those who have never been exposed to any chemistry whatsoever. No other scientific discipline that I am aware of shares this virtue of having one central motif that embodies the entire subject and brings together so much factual information as well as allowing for predictions to be made. Why then not exploit this benefit that chemistry possesses, through the existence of the periodic table, in shaping the way that the subject is taught?

In the SA and also the AA approaches to chemistry the periodic table does of course make an appearance from time to time, but it is seldom the focus of any sustained attention. For example, in traditional courses the periodic table serves as a repository for the atomic weights of all the elements, something to be consulted when performing a stoichiometric calculation and little else until chemical bonding is eventually discussed.

Emphasizing the periodic table maintains a historical development in the way that chemistry is represented, given that its discovery occurred some 150 years ago, as compared with the discovery of modern atomic and electronic structure which dates to more like 100 years ago. It is a well-known fact that many discoveries in atomic and electronic structure, and even quantum mechanics were motivated by attempts to explain the periodic table, which remained rather mysterious until talk of electrons in outer-shells and the like became available. An early emphasis on the periodic table provides an opportunity for students to realize that it led the way to atomic and electronic structure instead of presenting facts about atoms as though they were axioms in a deductive science like geometry. Aside from restoring the historical

dimension to the study of chemistry, one can frequently return to the periodic table to anchor many aspects of a chemistry course or to serve as a major thread while dealing with topics including atomic structure and chemical bonding.

Many educators stress the need for science students to learn about the nature of science in general before jumping into the details of any particular discipline that they might be studying. Alternatively, it is important to continue to emphasize aspects of the nature of science while mentioning such concepts as theories, models, hypotheses etc<sup>2</sup>.

Interestingly, philosophical aspects of chemistry have not been studied as extensively as those of physics and biology. The academic study of the philosophy of chemistry only began in earnest in the mid 1990s. There is still only one international academic journal, *Foundations of Chemistry*, which is dedicated to this field<sup>3</sup>. Chemical education is therefore in greater need of philosophical consideration than the other main disciplines in the natural sciences<sup>4</sup>.

---

<sup>2</sup> There are entire academic journals devoted to the inclusion of history and philosophy of science into science education. The best of these is probably the Springer journal *Science and Education*. <https://www.springer.com/journal/11191>

<sup>3</sup> <https://www.springer.com/journal/10698>

<sup>4</sup> There are now a number of books and edited collections on philosophy of chemistry which can help chemical educators to become more acquainted with the new sub-discipline in the philosophy of science. They include, Van Brakel, 2000, Baird, Scerri, McIntyre, 2005, Scerri, 2008, Scerri, McIntyre, 2014, Scerri, Fisher, 2016, Scerri, Restrepo, 2018, Scerri, E. Ghibaudi, 2020, Woody, Hendry, Needham, 2012.

## How is the periodic table to be introduced and how can it serve as one of the main threads for a general chemistry course?

My course presents the development of the periodic table in a historical manner starting with the discovery of triads of elements. By focusing on this development, one can begin to convey the notion that there are groups of elements such as Li, Na and K that behave similarly to each other and the fact that there are simple numerical regularities that connect these elements together.

One can then move to the central notion of chemical periodicity, namely that on arranging the elements in order of increasing atomic weight there is an approximate repetition in their chemical and physical properties after certain intervals (Figure 1).

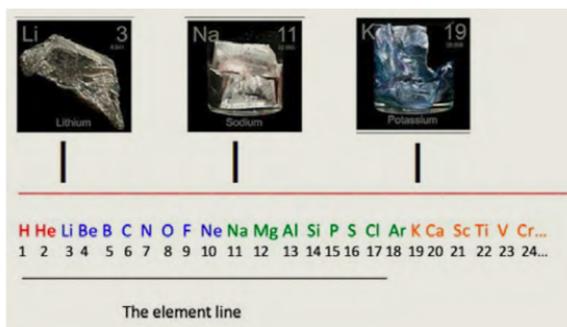


Figure 1 – Elements are arranged in increasing order of atomic number. Elements such as Li, Na and K represent approximate repetitions after intervals of 8 elements. Reproduced with permission.

At this point it is useful to present the original 8-column table of Mendeleev and other pioneer discoverers because this format displays periodicity in its clearest and simplest manner. I like to explain how this

process succeeds very well up to and including element manganese is reached. The following element, iron, is not a noble gas of course, and so cannot be placed in the eighth column of such a table (Figure 2).

H							He
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe ?

Figure 2 – The elements in the number line are presented as a series of rows such as to reflect chemical periodicity in each column. Reproduced with permission.

The way in which Mendeleev solved this problem was to ‘exclude’ iron from the main body of the table while placing it into a miscellaneous group, a move which he also applied to the following elements cobalt and nickel (Figure 3).

Series.	GROUP I. R <sub>2</sub> O.	GROUP II. RO.	GROUP III. R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	GROUP IV. RH <sub>4</sub> , RO <sub>2</sub> .	GROUP V. RH <sub>5</sub> , R <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .	GROUP VI. RH <sub>6</sub> , RO <sub>3</sub> .	GROUP VII. RH <sub>7</sub> , R <sub>2</sub> O <sub>7</sub> .	GROUP VIII. RO <sub>4</sub> .
I .....	H=1							
2 .....	Li=7	Be=9.4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3 .....	Na=23	Mg=24	Al=27.3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35.5	
4 .....	K=39	Ca=40	—44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59 Ni=59
5 .....	(Cu=63)	Zn=65	—68	—72	As=75	Se=78	Br=80	
6 .....	Rb=85	Sr=87	? Y=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—100	Ru=104, Rh=104 Pd=106
7 .....	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	I=127	
8 .....	Cs=133	Ba=137	? Di=138	? Ce=140	....	....	....	....
9 .....	....	....	....	....	....	....	....	....
10 .....	....	....	? Er=178	? La=180	Ta=182	W=184	....	Os=195, Ir=197 Pt=198
11 .....	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	....	....	
12 .....	....	....	....	Th=231	....	U=240	....	....

Figure 3 – A version of the 8-column periodic table published by Mendeleev. This is a slightly modified version of Mendeleev’s table of 1871. Reproduced with permission.

After that, things resume as before in that copper and zinc are placed in groups 1 and 2 respectively since they commonly display valences of 1 and 2 respectively. I also take the opportunity of stating that such tables are not fundamentally incorrect since they do collect together elements which share a common valence such as Be, Mg, Ca, Zn, Sr, Ba for example, all of which display valences of 2.

By contrast, the modern periodic table (Figure 4) solves the problem of the placement of Fe, Co and Ni by creating a set of ten new vertical groups in the periodic table, in what we now call the d-block of the table. It is pointed out that this format, which is almost ubiquitous these days, appears to commit an analogous and perhaps more serious exclusion of some elements, since as many as 28 elements are relegated to a footnote known as the f-block elements that lies below the main table<sup>5</sup>.

Fig. 4 The modern 18-column periodic table, features an apparently disconnected set of 28 elements, the f-block

1 H																	2 He																												
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne																												
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar																												
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr																												
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe																												
55 Cs	56 Ba	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn																												
87 Fr	88 Ra	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og																												
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>57 La</td> <td>58 Ce</td> <td>59 Pr</td> <td>60 Nd</td> <td>61 Pm</td> <td>62 Sm</td> <td>63 Eu</td> <td>64 Gd</td> <td>65 Tb</td> <td>66 Dy</td> <td>67 Ho</td> <td>68 Er</td> <td>69 Tm</td> <td>70 Yb</td> </tr> <tr> <td>89 Ac</td> <td>90 Th</td> <td>91 Pa</td> <td>92 U</td> <td>93 Np</td> <td>94 Pu</td> <td>95 Am</td> <td>96 Cm</td> <td>97 Bk</td> <td>98 Cf</td> <td>99 Es</td> <td>100 Fm</td> <td>101 Md</td> <td>102 No</td> </tr> </tbody> </table>																		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No
57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb																																
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No																																

Figure 4 – Modern periodic table. Reproduced with permission.

<sup>5</sup> There is an element of Whiggism at play here. It is only in modern times that all the f-block elements have been discovered and that the need for a 32-column display becomes more pressing.

This provides a perfect opening for presenting the 32-column presentation of the periodic table (Figure 5), which very naturally incorporates all of these ‘excluded elements’ into the main body of the table and which some textbooks are starting to display as what is perhaps a more coherent periodic table.

This section is developed while carefully not mentioning electrons, since they had not yet been discovered when the first periodic tables were published in the 1860s. Secondly, I delay presenting the underlying explanation of the periodic table until we have covered quantum theory, quantum numbers, the aufbau etc. Too many modern chemistry courses “put the cart before the horse” by first explaining the structure of atoms and then leaping straight into the explanation for the periodic table in terms of electronic configurations (Burge, 2019, Gilbert, 2020). Taking such an approach completely misrepresents the historical sequence and in is therefore educationally unsound.

Fig. 5 32-column or long-form periodic table which incorporates the f-block into the main body of the table such that every element follows every other one in order of increasing atomic

H 1																	He 2																
Li 3	Be 4																	B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10										
Na 11	Mg 12																	Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18										
K 19	Ca 20																	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38																	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86		
Fr 87	Ra 88	Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Es 98	Fm 99	Md 100	No 101	Lr 102	Rf 103	Db 104	Sg 105	Bh 106	Hs 107	Mt 108	Ds 109	Rg 110	Cn 111	Nh 112	Fl 113	Mc 114	Lv 115	Ts 116	Og 117	118		

Figure 5 – Long form periodic table. Reproduced with permission

Before completing this introduction to the periodic table, there is an opportunity to present some of the most recent thinking about this topic, in order to avoid creating the impression that the periodic table is a finished subject or a ‘closed book’. This can be carried

out by introducing the left-step periodic table. This representation involves moving the element helium to the top of group 2 of the table and then relocating this now modified s-block of elements to the right edge of the table (Figure 6)<sup>6</sup>.

Fig. 6 The left-step periodic table which features all periods that repeat, including the first short period of two elements, as highlighted in the red numbers

																H	He	2														
																Li	Be	2														
																B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	8								
																Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	8								
Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	18														
Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	18														
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	32
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og	118	122	32

Figure 6 – Left step periodic table. Reproduced with permission

The advantage of this table, apart from its far more regular appearance compared with the conventional 18 and 32-column tables, is that each period, including the very first one is seen to be repeated in terms of its length (Scerri, 2022). Needless to say, the field of chemistry is full of anomalies, although the proponents of this left-step table do not believe that the existence of just one period length that does not repeat may be one such genuine anomaly.

<sup>6</sup> The motivation for wanting to move helium into group 2 of the periodic table is the fact that its atoms have two electrons while the members of group 2 have two outer-electrons. But such talk of electrons was supposed to be excluded from this brief introduction to the periodic table, which aims to put chemistry and qualitative similarities among the elements to the fore. However, there is little doubt that beginning undergraduate chemistry students are already well aware of the fundamental explanation for the periodic table in terms of outer-shell electrons, even if the college course being presented here aims to provide a deeper understanding of this explanation.

## Modern atomic structure

The teaching of this topic can begin with the three momentous discoveries that were made at the turn of the 20<sup>th</sup> century, namely X-rays in 1895, radioactivity in 1896 and the electron in 1897.

One then turns to the historical development of successive models of the atom, starting with Thomson's plum pudding model, to Rutherford's nuclear atom. Any discussion of the next model due to Bohr should be preceded with a section that introduces the old quantum theory of Planck and Einstein. I find it rather hopeless to try to explain the problems surrounding black-body radiation in general chemistry due to the complexity of the subject matter. I prefer to state the result that Planck's work culminated in the assumption that the energy of electromagnetic radiation must be thought of as being quantized in order to make sense of the experimental data on glowing hot bodies.

Although Planck himself is said to have doubted the value of such a revolutionary idea it took the young Albert Einstein to make the first significant application of quantization of light energy in the context of the photoelectric effect and to thereby put quantization on a more secure foundation, as well as establishing the particulate nature of radiation and initiating the notion of photons of light. What Bohr did in introducing his model of the atom was to essentially apply quantization to the energy and angular momenta of the electron orbiting the nucleus of the hydrogen atom. I have discussed a conceptual treatment of this topic in a recent publication in *Chimica Nella Scuola* and will not therefore elaborate too much further here (Scerri, 2021).

Talking of the Bohr model, it is interesting to note that some chemistry textbooks now recommend skipping

this episode altogether on the grounds that the model was soon replaced by Schrödinger's model<sup>7</sup>. I have to say that I believe it is a mistake to omit the Bohr model, in view of its iconic status and the fact that it was an important stepping stone towards the fully quantized model that incorporated the wave nature of the electron.

Proceeding historically, I like to then discuss De Broglie's speculation that the electron might have a wave nature and its experimental confirmation that took place soon afterwards. At this point Schrödinger was able to write a wave equation for the electron in the hydrogen atom. The solution of this equation featured 3 quantum numbers which had to be attributed to the electron in its various energy levels, later augmented by a fourth quantum number following Pauli's suggestion. Armed with the relationship between these four quantum numbers one could finally explain the periodic table in a fundamental manner, namely the possible lengths of periods as 2, 8, 18 or 32. This is a major success which is not sufficiently emphasized in chemistry courses. It is worth noting that this explanation is achieved with an equation which was initially applied just to the hydrogen atom and which can only be solved exactly for this case.

The course continues with the obligatory section on writing electronic configurations for many-electron atoms including the controversial issues such as the relative occupation and ionization of the 3d and 4s orbitals in the first transition metal series (Scerri, 2019)<sup>8</sup>.

Turning finally to chemical bonding one now needs to break with the historical sequence by covering classical

---

<sup>7</sup> For example, the well-known textbook by Atkins, Jones and Laverman omits any discussion whatsoever of the Bohr model.

<sup>8</sup> This article also discusses several problematical issues in chemical education such as Le Châtelier's Principle.

bonding concepts such as Lewis structures, VSEPR and dipoles only to afterwards resume the quantum story to see how it was applied to chemical bonding. I suppose it would be possible to maintain a strictly historical account and teach classical bonding concepts before any quantum concepts have been mentioned but I have never attempted to do so.

In teaching the above-mentioned classical bonding concepts I like to stress their limitations in order to motivate the need for quantum theories of bonding. For example, many Lewis structures such as that of benzene need to be augmented with the notion of resonance but even this is not a fully satisfactory explanation because it still assumes the presence of distinct single and double bonds. Similarly, there are many molecules whose shape or bond angles cannot be explained using the VSEPR model. I am thinking of cases such as  $\text{H}_2\text{S}$  or  $\text{PH}_3$  which would be expected to have bond angles similar to water and ammonia respectively but which actually have angles of  $92^\circ$  and  $93^\circ$  respectively.

The two quantum theories of bonding that are presented in general chemistry consist of valence bond/hybridization and molecular orbital theory. Both are treated in a qualitative fashion featuring diagrams rather than mathematically. Molecular orbital theory is introduced with energy diagrams that allow one to predict or at least rationalize whether any particular diatomic molecule may be stable or not according to the relative occupation of bonding and anti-bonding orbitals.

Finally, a general chemistry course would typically also include sections on thermodynamics, equilibrium theory, kinetics and redox, although discussion of these are topics that will have to wait for a future article. To conclude, the proposed modification to the atoms first approach consists in teaching the material in a historical

manner as far as possible. In this way the student is relieved of the tedium of the traditional beginning topics that were mentioned in my introduction. In addition, the study of chemistry is enriched and humanized by exposing the student to the gradual development of ideas and discoveries, rather than presenting chemistry as a jumble of somewhat unrelated sub-sections.

### **Acknowledgement**

I thank Professor Laura Orian for inviting me to the University of Padova and for suggesting that I contribute to this volume of articles.

### **References**

- Atkins, P., Jones, L., Laverman, L. (2016). *Chemical Principles, The Quest for Insight*, 7th edition, Freeman, San Francisco.
- Baird, D., Scerri, E.R., L. McIntyre, L. eds. (2005). *The Synthesis of a New Discipline*, volume 242 of *Boston Studies in the Philosophy of Science*, Springer, Heidelberg.
- Burdge, J.; Overby, J. (2014). *Chemistry Atoms First*, 2nd ed.; McGraw-Hill, New York.
- Burdge, J., Driessen, M. (2019). *Introductory Chemistry: An Atoms First Approach*, 2nd ed. McGraw-Hill.
- Gilbert, T.R., Kirss, R.V. (2020). *Chemistry: An Atoms-Focused Approach*, W.W. Norton & Co., New York.
- Kirss, R. V., Foster, N., Davies, G. (2015). *Chemistry. The Science in Context*, 4th ed., W.W. Norton & Company, Inc.: New York.
- Chitiyo, G., Potter, D.W., Rezsnyak, C.E. (2018). Impact of an Atoms-First Approach on Student Outcomes in a Two-Semester General Chemistry Course, *Journal of Chemical Education*, 95, 1711–1716.

- Esterling, K.M., Bartels, L. (2013). Atoms-First Curriculum: A Comparison of Student Success in General Chemistry, *Journal of Chemical Education*, 90, 1433–1436.
- Gilbert, T. R., Kirss, R. V., Foster, N., Bretz, S. L. (2018). *Chemistry, An Atoms-Focused Approach*; W. W. Norton & Company: New York.
- McMurry, J., Fay, R.C. (2010). *General Chemistry Atoms First*; Pearson Prentice Hall: Upper Saddle River.
- Scerri, E.R., McIntyre, L. (1997). The Case for Philosophy of Chemistry, *Synthese*, 111, 213–232.
- Scerri, E.R. (2008). *Collected Papers on Philosophy of Chemistry*, Imperial College Press, London.
- Scerri, E.R., McIntyre, L. (2014). The Growth of a New Discipline, *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. 306, Springer, Heidelberg.
- Scerri, E.R., Fisher, G. (2016). *Essays in The Philosophy of Chemistry*, Oxford University Press, New York.
- Scerri, E.R., Restrepo, G. (2018). *Mendeleev to Oganesson. Multidisciplinary Perspectives on the Periodic Table*, Oxford University Press.
- Scerri, E.R. (2019). *The Periodic Table, Its Story and Its Significance*, 2nd edition, Oxford University Press, New York.
- Scerri, E.R. (2019). Five Ideas in Chemical Education that must die, *Foundations of Chemistry*, 21, 61–69.
- Scerri, E.R., Ghibaudi, E. (2020). *What is a Chemical Element?* Oxford University Press, New York.
- Scerri, E.R. (2021). Integrating the History and Philosophy of Science and restoring the centrality of the Periodic Table into a college general chemistry course, *Chimica Nella Scuola*, 4, 16–23.
- Scerri, E.R. (2022). Various forms of the periodic table including the left-step table, the regularization of atomic number triads and first member anomalies, *Chem Texts*, 8, 6. <https://doi.org/10.1007/s40828-021-00157-8>

- Tro, N. J. (2014). *Chemistry: A Molecular Approach*, 3rd ed.; Pearson: Upper Saddle River, NJ.
- Van Brakel, J. (2000). *Philosophy of Chemistry, Between the Manifest and the Scientific Image*, Leuven University Press, Leuven.
- Woody, A., Hendry, R., Needham, P. (2012). *Philosophy of Chemistry*, Volume 6 in *Handbook for the Philosophy of Science*, Elsevier, Amsterdam.
- Zumdahl, S.S., Zumdahl, S. A. (2012). *Chemistry: An Atoms First Approach*; Brooks Cole: Belmont.
- Zumdahl, S.S., Zumdahl, S. A. (2016). *Chemistry: An Atoms First Approach*, 2nd ed.; Cengage Learning: Boston, MA.

## Ringraziamenti

Questo volume e i suoi contenuti sono nati all'interno di un percorso lungo il quale molti docenti del Dipartimento di Scienze Chimiche (DiSC) dell'Università degli Studi di Padova e insegnanti delle scuole secondarie hanno condiviso momenti di formazione e attività con le scuole. La collaborazione successiva con la Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana ha portato nuova linfa al percorso. Un ruolo importante per promuovere queste iniziative lo ha rivestito il Piano nazionale Lauree Scientifiche Chimica coordinato negli anni passati dai colleghi Cristina Paradisi, Stefano Mammi e Camilla Ferrante. Docenti universitari, docenti della scuola e tantissimi studenti hanno il merito di aver diffuso in questi anni la cultura che la chimica va insegnata soprattutto con passione!

*Insegnare chimica con passione!* non è soltanto il titolo che abbiamo scelto per questo volume, ma è il nome di un convegno che si tiene da ormai dieci anni presso il Dipartimento di Scienze Chimiche (DiSC) dell'Università di Padova, i cui protagonisti sono gli insegnanti di chimica della scuola secondaria. Nel contesto del convegno si instaurano vivaci dibattiti su aspetti scientifici e didattici della disciplina e questo ha favorito la costruzione di una rete di professionisti della didattica della chimica che sono spinti e coltivano una passione per questa scienza, spesso giudicata sui banchi di scuola difficile e altrettanto spesso giudicata dalla società dannosa e responsabile di ingenti danni ambientali e alla salute. In questo volume sono raccolte le esperienze di alcuni docenti, insieme al contributo del Prof. Eric Scerri, scienziato autorevole in ambito della storia, epistemologia e didattica della chimica.

LAURA ORIAN è professoressa associata presso il DiSC dell'Università di Padova. È un chimico teorico-computazionale e si interessa da tempo dell'insegnamento della chimica e della formazione degli insegnanti della scuola secondaria; da anni organizza il convegno *Insegnare chimica con passione!*

MARINA GOBBO è professoressa associata presso il DiSC dell'Università di Padova. Da anni si interessa della formazione degli insegnanti; dal 2012 al 2015 è stata presidente dei corsi di Tirocinio Formativo Attivo e dei Percorsi Abilitanti Speciali dell'Università di Padova per la classe di concorso Chimica e Tecnologie chimiche; dal 2018 è coinvolta nei percorsi per il conseguimento dei 24CFU.

GIOVANNI VILLANI è ricercatore del CNR a Pisa. È un chimico teorico e si interessa da tempo della formazione degli insegnanti. È stato presidente della Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana. Ha pubblicato e curato numerosi libri di chimica.

ISBN 978-88-6938-330-4



9 788869 383304

€ 25,00